ОПИСАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМІЯ

Составлена по лекціямъ

Заслуж. проф. С. П. ГЛАЗЕНАПА,

читаннымъ въ С.-Петербургскомъ Университетѣ.

Изданіе студ. Л. Ѳ. АУСЕЯ

подъ редакціей

засл. проф. С. П. ГЛАЗЕНАПА.





С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Лит. А. Иконникова, Пет. ст., Б. Гребецкая, 49—8.
1908.

Введеніе.

Если изъ всѣхъ картинъ, которыя намъ даетъ величественная природа днемъ, ни одна такъ не бросается въ глаза и не поражаетъ насъ, какъ наша дневная владычица-лучезарное солнце, то въ ясную, тихую ночь картина неба, усѣяннаго тысячами яркихъ свѣтилъ въ группахъ и созвѣздіяхъ дивной красоты, неотразимо влечетъ взоры человѣка вверхъ; эти небесныя очи какъ бы глядятъ на него и призываютъ не только любоваться ими, но и изучать ихъ.

Человѣкъ не остался безъ отвѣта на этотъ призывъ: пылкое желаніе постичь тайны, скрывающіяся въ этихъ чудныхъ свѣтилахъ, давнымъ давно породило астрономію - науку о небесныхъ свѣтилахъ - едва-ли не самую древнюю и самую прекрасную изъ всѣхъ наукъ.

Объемъ астрономіи постоянно расширяется, опредѣленія ея дѣлаются точнѣе, свѣдѣнія полнѣе и совершеннѣе.

Укажемъ, напр., на развитіе точности астрономическихъ наблюденій.

Измѣренія велись:

без астрономической трубы (Тихо-Браге) съ точностью до .....2′- 3′

въ XVII в. первыя наблюденія съ трубой...................10″

...Б. УНИВЕРСИТЕТА. ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. С. Б. ГРЕБЕЦКАЯ 49-6. СПБ.

въ XVIII в. ....6"

въ XIX в. въ началѣ (Бессель)............2"

въ концѣ.............................I"

въ XX в. ....0",I

Японскіе ученые ведутъ измѣренія................0",03

Бернгемъ (Burnham)...............................0",0I

Приведемъ еще такой примѣръ.

Огюстъ Контъ въ своемъ курсѣ "Позитивной философіи" - (I830 г.-I842 г.) на основаніи научныхъ данныхъ того времени утверждалъ, что никогда нельзя будетъ опредѣлить химическій составъ и перемѣщеніе по лучу зрѣнія, или такъ называемое радіальное перемѣщеніе неподвижныхъ звѣздъ.

Въ самомъ дѣлѣ, что, казалось, могла бы разсказать о своемъ составѣ звѣзда, находящаяся отъ насъ на разстояніи, для измѣренія котораго служитъ свѣтовой годъ, звѣзда, которая даже въ самый сильный телескопъ представляется только точкой? Или какъ открыть радіальное перемѣщеніе звѣзды,когда для того, чтобы обнаружить измѣненіе блеска звѣзды -единственный признакъ, на основаніи котораго можно было бы судить, приближается или удаляется отъ насъ звѣзда - звѣзды, обладающей даже наибольшей скоростью, нужно, какъ показываютъ вычисленія, не менѣе II тысячъ лѣтъ?

Тѣмъ не менѣе, несмотря на такія, повидимому, непреодолимыя затрудненія, не прошло и полвѣка съ появленія книги Конта, какъ съ открытіемъ спектральнаго анализа стало возможнымъ опредѣлить и то и другое. Спектры небесныхъ свѣтилъ разсказываютъ намъ съ несомнѣнной достовѣрностію о химическомъ составѣ свѣтилъ, какъ бы далеко послѣднія не находились, а по перемѣщенію спектральныхъ линій можно на основаніи принципа Допплера-Физо x) опредѣлить не только то, приближается или удаляется отъ насъ свѣтило, но и скорость радіальнаго перемѣщенія, опять-таки независимо отъ разстоянія, на которомъ находится изслѣдуемое свѣтило.

Указавъ на примѣры прогресса астрономіи, перейдемъ теперь къ нашему курсу.

----

x) Принципъ Допплера-Физо состоитъ въ томъ, что при движеніи источника свѣта по лучу зрѣнія наблюдателя число воспринимаемыхъ глазомъ свѣтовыхъ волнъ должно быть при удаленіи меньше, а при приближеніи больше, чѣмъ отъ покоящагося источника. Слѣдствіемъ этого является то обстоятельство, что цвѣта спектра сдвигаются при приближеніи къ болѣе преломляющемуся концу спектра, т.е. къ фіолетовому, а при удаленіи къ красному. Отсюда можно опредѣлить не только направленіе движенія источника свѣта, но и скорость этого движенія. Подробности см. въ курсахъ физики.

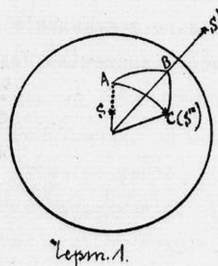
-----xxxxx-----

ЧАСТЬ I.

I. КООРДИНАТЫ НЕБЕСНЫХЪ СВѢТИЛЪ.

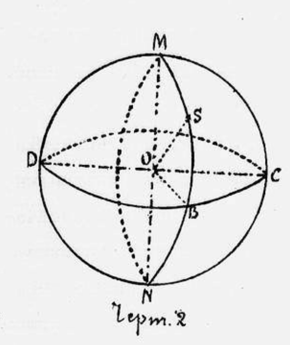
Небесныя свѣтила кажутся намъ расположенными на поверхности небеснаго полушарового свода, опирающагося на землю. Не имѣя возможности непосредственно опредѣлить удаленіе небесныхъ свѣтилъ отъ земли, опредѣляютъ только ихъ взаимное положеніе или угловое разстояніе, т.е. уголъ, вершина котораго совпадаетъ съ глазомъ наблюдателя, а стороны суть лучи зрѣнія, идущіе къ свѣтиламъ.

Въ виду того, что величина угла не зависитъ отъ длины сторонъ, изъ глаза наблюдателя (иногда изъ центра земли, что впрочемъ безразлично въ виду малыхъ размѣровъ земли въ сравненіи со вселенной), какъ изъ центра описываютъ сферу произвольнаго радіуса и черезъ каждую звѣзду проводятъ лучъ зрѣнія, совпадающій съ радіусомъ сферы, до пересѣченія со сферой, на которой такимъ образомъ проектируются свѣтила $S, S', S\dots$ (черт. I) въ точкахъ $A, B, C\dots$, а дуги AB, $BC, AC, \dots$ измѣряютъ угловыя разстоянія между звѣздами. Такого рода сфера въ астрономіи называется *небесною сферою.*



Черт. 1.

Чтобы указать положеніе свѣтила на небесной сферѣ, достаточно указать его угловыя разстоянія отъ двухъ какихъ нибудь взаимно перпендикулярныхъ плоскостей, принимаемыхъ за основныя, или отъ какой нибудь основной плоскости и основного направленія, лежащаго въ этой плоскости.



Черт. 2

Такъ напр., положеніе свѣтила, S (черт. 2) будетъ опредѣлено, если будетъ указано его угловое разстояніе отъ основной плоскости $MCND$, измѣряемое дугой BC большого круга DBC, перпендикулярнаго къ кругу $MCND$, и угловое разстояніе отъ плоскости DBC, измѣряемое дугой SB круга MBN, перпендикулярнаго къ кругу DBC; вмѣсто углового разстоянія SB можно разсматривать угловое разстояніе свѣтила S отъ основного направленія MN, измѣряемое дугой MS. Эти двѣ величины - угловыя разстоянія отъ основныхъ плоскостей или отъ основной плоскости и основного направленія называются *сферическими координатами* свѣтила.

Направленіе, которое принимаетъ нитка со свободно висящимъ на ней грузомъ, называется *отвѣснымъ* или *вертикальнымъ.* Всякая плоскость, перпендикулярная къ отвѣсной линіи, называется *горизонтальной*. Пересѣченіе небесной сферы съ горизонтальной плоскостью, проведенной черезъ центръ сферы, называется *истиннымъ горизонтомъ* или просто *горизонтомъ.* Горизонтъ дѣлитъ небесную сферу на двѣ части: та часть, которая находится надъ головой наблюдателя, называется *видимой*, противоположная *невидимой*.

Отвѣсная линія, будучи продолжена въ обѣ стороны, пересѣкаетъ небесную сферу въ двухъ точкахъ, называемыхъ *зенитомъ и надиромъ*. *Зенитъ* лежитъ надъ головой наблюдателя въ видимой части небесной сферы, а *надиръ* въ невидимой.

Всякая плоскость проходящая черезъ отвѣсную линію, пер-

пендикулярна къ горизонтальной плоскости и называется - **вертикальною.** Вертикальныя плоскости пересѣкаютъ небесную сферу по большимъ кругамъ, перпендикулярнымъ къ горизонту и называемымъ **вертикалами**.

Линія, вокругъ которой происходитъ видимое вращеніе небесной сферы со всѣми, расположенными на ней свѣтилами, называется **осью міра.** Если провести ось міра до пересѣченія съ небесной сферой, то получатся двѣ точки, называемыя **полюсами міра**. Полюсъ міра, видимый надъ нашимъ горизонтомъ, называется **сѣвернымъ**, противоположный ему полюсъ **южнымъ**. Въ настоящее время сѣверный полюсъ лежитъ недалеко отъ Полярной звѣзды (α Ursae minoris).

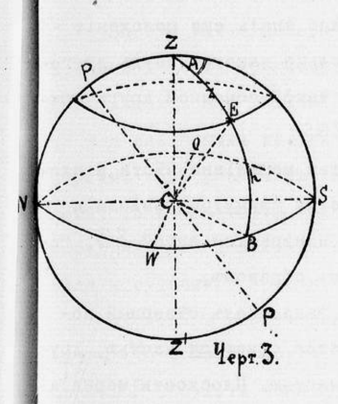
Плоскость, проведенная черезъ центръ сферы перпендикулярно къ оси міра, называется **плоскостью экватора**, а пересѣченіе этой плоскости съ небесной сферой - **экваторомъ**.

Плоскость, проходящая черезъ зенитъ даннаго мѣста, полюсъ міра и центръ сферы, называется меридіональною, а пересѣченія ея съ небесной сферой называется **меридіаномъ** даннаго мѣста.

Имѣя это въ виду, можемъ опредѣлить положеніе свѣтила слѣдующимъ образомъ. Пусть плоскость меридіана совпадаетъ съ плоскостью чертежа (черт. 3), Z есть зенитъ, Z'- надиръ, P- сѣверный полюсъ, P'- южный, $NWSO$- горизонтъ, E- положеніе свѣтила.

Проведемъ черезъ свѣтило E вертикалъ, который, какъ мы знаемъ, будетъ перпендикуляренъ къ горизонту.

Угловое возвышеніе луча зрѣнія CE, идущаго къ свѣтилу E, надъ плоскостью горизонта или дуга EB, измѣряющая этотъ уголъ, называется **высотою** свѣтила. Высота обык-



Черт. 3.

новенно обозначается буквой и отсчитывается по вертикальному кругу, проведенному черезъ звѣзду и называемому поэтому **вертикаломъ** звѣзды, отъ горизонта вверхъ и внизъ отъ 0^o (горизонтъ) и до 90^o (зенитъ или надиръ). Высота звѣзды, лежащей надъ горизонтомъ, считается положительной, высота, отсчитываемая по направленію къ надиру, отрицательной. Вертикальные круги иногда еще называются **кругами высотъ**.

Вмѣсто высоты h для опредѣленія положенія свѣтила можно ввести такъ называемое **зенитное разстояніе** свѣтила, обозначаемое обыкновенно буквой z **Зенитнымъ разстояніемъ** $ZE = z$ свѣтила E наз. дуга вертикала, выражающая угловое разстояніе свѣтила отъ зенита. Зенитныя разстоянія отсчитываются отъ зенита по направленію къ горизонту отъ 0^o (зенитъ) до 90^o (горизонтъ); для свѣтилъ, находящихся подъ горизонтомъ, зенитное разстояніе больше 90^o.

Нетрудно понять, что для всякой точки на поверхности сферы должно существовать соотношеніе:

$$z + h = 90^o$$

Одной высоты или одного зенитнаго разстоянія недостаточно для опредѣленія положенія свѣтила на небесной сферѣ; если проведемъ черезъ E кругъ, параллельный горизонту, то всѣ звѣзды, лежащія на этомъ кругѣ, будутъ имѣть одинаковыя высоты и зенитныя разстоянія. Слѣдовательно, чтобы вполнѣ -

опредѣлить положенiе свѣтила, нужно знать еще положенiе - вертикальнаго круга ZEB относительно какого-нибудь другого, принимаемаго за основной. За такой основной кругъ принимаютъ меридiанъ даннаго мѣста ZNS

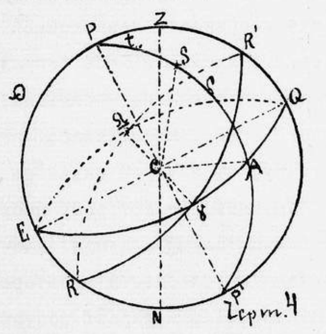
Уголъ, составленный плоскостью меридiана мѣста и плоскостью вертикала звѣзды, называется __азимутомъ__ звѣзды и обозначается буквой A ; азимутъ измѣряется дугой SB горизонта и отсчитываются слѣдующимъ образомъ.

Та часть меридiана, которая заключаетъ сѣверный полюсъ P ,т.е. часть $NPZC$, называется __сѣверной__ частью, другая часть ZSC называется __южной__ частью. Плоскость меридiана пересѣкается съ плоскостью горизонта по линiи NS которая называется полуденной линiей и которая пересѣкаетъ небесную сферу въ двухъ точкахъ S и N ; точка S ,лежащая въ южной части меридiана, называется точкой __юга__, точка N лежащая въ сѣверной части меридiана, называется точкой __сѣвера__. Линiя WO , лежащая въ горизонтальной плоскости и перпендикулярная къ полуденной линiи, проходя черезъ центръ сферы, пересѣкаетъ ее въ точкахъ W и O ; точка W ,лежащая вправо отъ наблюдателя, обращеннаго лицомъ къ югу, называется точкой __запада__, противоположная ей точка O называется точкой __востока__.

Азимуты отсчитываются отъ точки юга S по направленiю видимаго движенiя неба, т.е. къ западу отъ 0° до 360° .Иногда впрочемъ считаютъ и такъ: если широта мѣста наблюденiя сѣверная, то азимуты отсчитываются отъ точки сѣвера N къ востоку и западу отъ 0° до 180° ; если же широта мѣста южная, то азимуты отсчитываются отъ точки юга S также къ западу и къ востоку отъ 0° до 180°

Высота или зенитное разстоянiе свѣтила и его азимутъ составляютъ первую систему координатъ, но такъ какъ координаты эти зависятъ отъ положенiя плоскости горизонта, слѣдовательно для различныхъ точекъ земной поверхности будутъ различны, и кромѣ того, зависятъ еще отъ видимаго суточнаго движенiя неба, то очень часто пользуются другой системой координатъ, опредѣляющихъ положенiе свѣтила независимо отъ мѣста наблюдателя и суточнаго вращенiя неба.

Проведемъ черезъ полюсъ P (черт. 4) и звѣзду S большой кругъ PSP'; этотъ кругъ, какъ и вообще всѣ, проходящiе черезъ полюсъ P , будетъ перпендикуляренъ къ экватору EQ и называется __кругомъ склоненiя__ свѣтила; дуга этого круга SA, измѣряющая угловое возвышенiе свѣтила надъ экваторомъ называется __склоненiемъ__ этого свѣтила и обозначается буквой δ ; склоненiе по кругу склоненiй отъ экватора по обѣ стороны отъ 0° до 90° ; когда звѣзда находится въ сѣверномъ полушарiи небесной сферы, ея склоненiе считается положительнымъ, когда въ южномъ - отрицательнымъ.



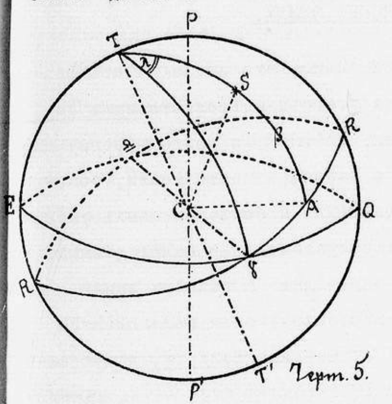
Вмѣсто склоненiя δ можно разсматривать такъ называемое полярное разстоянiе p свѣтила; это есть дуга PS ,представляющая угловое удаленiе свѣтила S отъ полюса P .

Полярное разстоянiе отсчитывается отъ сѣвернаго полюса по кругу склоненiй отъ 0° до 180°. Ясно, что δ и p одного и того-же свѣтила дополняютъ другъ друга до 90° ,т.е. всегда

$$\delta + p = 90^{\circ}$$

Другой координатой свѣтила будетъ уголъ, образованный кругомъ склоненія свѣтила и меридіаномъ даннаго мѣста. Этотъ уголъ, или дуга экватора QA, измѣряющая его, называется часовымъ угломъ свѣтила и обозначается буквой t. Часовые углы отсчитываются отъ южной части меридіана къ западу по экватору отъ 0° до 360°, т.е. по направленію видимаго движенія небеснаго свода. Часовые углы очень часто выражаются не въ градусахъ, минутахъ и секундахъ дуги, а въ часахъ, минутахъ и секундахъ времени, считая одинъ часъ на каждые I5 градусовъ, одну минуту на каждыя I5 минутъ дуги и одну секунду на каждыя I5 секундъ дуги.

Часовой уголъ свѣтила зависитъ отъ положенія меридіана даннаго мѣста; чтобы сдѣлать и эту координату независимой отъ положенія наблюдателя и суточнаго движенія неба, опредѣляютъ положеніе круга склоненія не относительно меридіана, а относительно нѣкотораго постояннаго круга, проходящаго черезъ полюсъ, центръ сферы и ту точку, въ которой экваторъ пересѣкается съ эклиптикой, т.е. кругомъ, по которому происходитъ видимое годовое движеніе солнца вокругъ земли. Плоскость эклиптики нѣсколько наклонена къ плоскости экватора и пересѣкаетъ ее по прямой линіи, проходящей черезъ центръ сферы и опредѣляющей на экваторѣ двѣ точки, называемыя: одна точкой весенняго равноденствія γ, другая точкой осенняго равноденствія ♎. Дуга экватора γA, заключенная между точкой весенняго равноденствія и точкой пересѣченія экватора съ кругомъ склоненія свѣтила, называется прямымъ восхожденіемъ свѣтила и обозначается такъ: AR = ascentio recta. Прямое восхожденіе и служитъ второй координатой и отсчитывается по экватору отъ точки γ по направленію къ востоку, т.е. по направленію, обратному движенію неба, отъ 0° до 360° или отъ 0^{h} до 24^{h}.



Черт. 5.

Кромѣ двухъ разсмотрѣнныхъ системъ координатъ часто приходится пользоваться еще координатами свѣтила, называемыми астрономической широтой и долготой свѣтила.

Пусть EQ (черт.5) есть экваторъ, а RR' эклиптика. Проведемъ черезъ центръ сферы линію, перпендикулярную къ плоскости эклиптики и пересѣкающую небесную сферу въ двухъ точкахъ T и T', называемыхъ полюсами эклиптики.

Если черезъ полюсъ эклиптики T и звѣзду S проведемъ большой кругъ сферы, то онъ будетъ перпендикуляренъ къ эклиптикѣ и называется кругомъ широтъ. Угловое возвышеніе свѣтила S надъ плоскостью эклиптики, измѣряемое дугою SA круга широтъ, называется астрономической широтой свѣтила и обозначается буквой β. Астрономическія широты отсчитываются отъ эклиптики по кругамъ широтъ къ сѣверу отъ 0° до 90° и къ югу отъ 0° до -90°.

Уголъ, составленный кругомъ широты свѣтила S съ кругомъ, проходящимъ черезъ полюсъ эклиптики T и точку весенняго равноденствія γ или дуга эклиптики γA, измѣряющая этотъ уголъ, называется астрономической долготой свѣтила и обозначается буквой λ. Астрономическія долготы отсчитываются по эклипти-

кѣ отъ точки   по направленію къ востоку черезъ югъ, т.е. противъ видимаго движенія неба, отъ 0° до 360°.

2. ВИДЪ И ВЕЛИЧИНА ЗЕМЛИ.

Давнымъ давно уже было замѣчено, что земля имѣетъ форму ограниченную, о чемъ прежде всего свидѣтельствовалъ заходъ и восходъ солнца и другихъ свѣтилъ, и притомъ форму шарообразную, впрочемъ, мнѣніе о шарообразности земли, основанное на болѣе тонкихъ наблюденіяхъ и болѣе сложныхъ умозаключеніяхъ, было распространено сравнительно мало; давнымъ давно являются также попытки опредѣлить и размѣры земли.

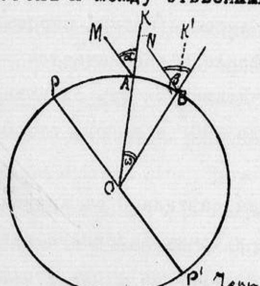
Первая попытка опредѣлить размѣры земли принадлежитъ Эратосфену (276-I95 г. до Р.Хр.) изъ Александріи, допускавшему шарообразность земли.

Измѣренія его сводились къ слѣдующему. Пусть $PABP'$ (черт. 6) будетъ меридіальное сѣченіе земли, PP'- ось ея, точки A и B расположены на одномъ меридіанѣ. Разстояніе между точками A и B на земной поверхности измѣрено; пусть оно равно S. Уголъ ω между отвѣсными направленіями AO и BO также считается извѣстнымъ изъ астрономическихъ наблюденій. Тогда на основаніи соотношенія

$$S : 2\pi R = \omega : 360^\circ$$

получаемъ, что

$$R = \frac{360 \cdot S}{2\pi\omega}$$



Черт. 6

Эратосфенъ измѣрилъ разстояніе между Александріей и Сіеной и, кромѣ того, замѣтилъ, что лѣтомъ, когда солнце достигаетъ высшей своей точки на небѣ, то въ Александріи оно от-

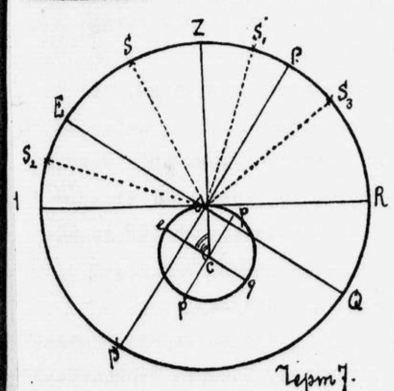
стоитъ отъ зенита на $7\frac{1}{2}^\circ$, въ тоже время въ Сіенѣ оно стоитъ въ зенитѣ; такимъ образомъ, угловое разстояніе между обоими мѣстами равно $7\frac{1}{2}^\circ$ Изъ этихъ данныхъ Эратосфенъ, совершенно случайно для себя, довольно точно опредѣлилъ радіусъ земли.

Посмотримъ какъ опредѣляется болѣе точно уголъ ω

Проведемъ черезъ точки A и B линіи AM и BN, параллельныя оси міра PP' и составляющія съ AO и BO соотвѣтственно углы α и β. Ясно, что $\alpha = 90^\circ - \varphi_1$ и $\beta = 90^\circ - \varphi_2$, гдѣ φ_1 и φ_2 географическія широты точекъ A и B, т.е. угловыя удаленія этихъ точекъ отъ экватора, отсчитываемыя по меридіональному кругу; такъ какъ $\omega = \beta - \alpha$, то $\omega = \varphi_2 - \varphi_1$.

Такимъ образомъ, мы видимъ, что для того, чтобы опредѣлить размѣры земного радіуса, необходимо измѣрить длину дуги между двумя какими-нибудь точками на земной поверхности и уголъ между радіусами земного шара, проведенными въ этихъ точкахъ, который измѣряется разностью широтъ данныхъ точекъ.

Покажемъ, что широта какого-нибудь мѣста равняется высотѣ полюса въ этомъ мѣстѣ, и разсмотримъ въ общихъ чертахъ, какъ опредѣлить высоту полюса или широту мѣста.



Черт 7.

Пусть плоскость меридіана $EZPQ$ (черт.7) совпадаетъ съ плоскостью чертежа, P есть полюсъ міра, Z зенитъ, epq-плоскость меридіана земли, также совпадающая съ плоскостью

чертежа, HR-горизонтальная линія точки O на земной поверхности. Такъ какъ $pp' \parallel PP'$, то изъ чертежа ясно, что $\angle ZOP = \angle OCp$, какъ соотвѣтственные, слѣдовательно, равны и дополненія - этихъ угловъ до 90°, поэтому

$$\angle eCO = \angle POR \text{ или}$$

$$\varphi = \angle POR$$

что и хотѣли показать, такъ какъ уголъ POR есть высота полюса, а уголъ eCO-широта мѣста.

Допустимъ, что мы наблюдаемъ какое-нибудь свѣтило въ моментъ его прохожденія черезъ меридіанъ или, какъ говорятъ, въ моментъ кульминаціи, при чемъ прохожденіе черезъ меридіанъ между сѣвернымъ полюсомъ и точкой юга соотвѣтственно моменту верхней кульминаціи, прохожденіе же между сѣвернымъ полюсомъ и точкой сѣвера называется нижней кульминаціей.

Пусть свѣтило въ моментъ верхней кульминаціи находится между зенитомъ и экваторомъ, т.е. занимаетъ, допустимъ, положеніе S.

Изъ чертежа видно, что

$$z + \delta + \angle ZOP = 90^{\circ}$$

$$\text{и } \angle ZOP = 90^{\circ} - \varphi$$

Вычтя изъ перваго равенства второе, получаемъ, что

$$\varphi = \delta + z$$

Если же звѣзда въ моментъ верхней кульминаціи находится между Z и P, какъ, напримѣръ, S_1, то, замѣтивъ, что $\angle EOZ = \varphi$, такъ какъ тоже служитъ дополненіемъ угла ZOP до 90° получаемъ

$$z + 90^{\circ} - \delta_1 + \varphi = 90^{\circ}, \quad \text{откуда}$$

$$\varphi = \delta_1 - z_1 \quad \text{что согласно съ первой}$$

формулой, такъ какъ z тутъ по правилу Декарта отрицательное

Пусть свѣтило занимаетъ положеніе S_2, т.е. въ моментъ верхней кульминаціи находится между экваторомъ и горизонтомъ; тогда:

$$\delta_2 + \varphi = z_2, \quad \text{откуда}$$

$$\varphi = z_2 - \delta_2, \quad \text{гдѣ } \delta_2 \text{ по правилу}$$

лу Декарта отрицательное.

Пусть наконецъ наблюденіе производится надъ звѣздой, находящейся въ моментъ нижней кульминаціи и занимающей положеніе между полюсомъ и экваторомъ, какъ напр S_3

Тогда;

$$\angle ZOP + 90^{\circ} - \delta_3 = z_3 \quad \text{или}$$

$$90^{\circ} - \varphi + 90^{\circ} - \delta_3 = z_3, \text{откуда:}$$

$$\varphi = 180^{\circ} - (\delta_3 + z_3)$$

Зададимъ теперь такой вопросъ: какъ расположить наблюденія, чтобы опредѣлить φ, если почему-либо неизвѣстно склоненіе звѣзды?

Для этого нужно сдѣлать наблюденія въ моменты верхней и нижней кульминаціи, если, конечно это возможно; тогда будемъ имѣть слѣдующія равенства:

$$\varphi = \delta + z$$

$$\varphi = 180^{\circ} - (\delta + z')$$

Сложивъ полученныя равенства, находимъ:

$$\varphi = 90^{\circ} - \frac{z - z'}{2}$$

Какъ опредѣляются δ и z, объ этомъ см. въ курсахъ "Практической астрономіи"

Перейдемъ теперь къ болѣе подробному описанію земли.

Въ настоящее время мы имѣемъ слѣдующія наиболѣе на-

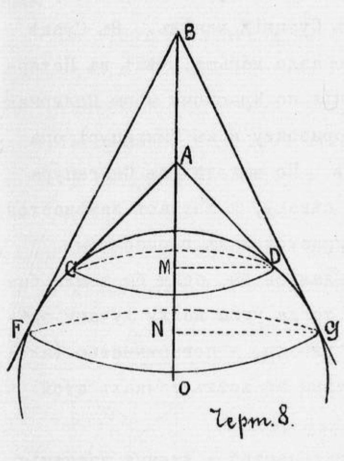
ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. С. Б. ГРЕБЕЦКАЯ 49-6. СПБ.

глядныя доказательства шаровидности земли.

<u>ГЕОМЕТРИЧЕСКІЯ</u>. I. <u>Приближеніе и удаленіе въ открытомъ мѣстѣ къ какому-нибудь высокому предмету.</u> Предполагая, что земная поверхность представляетъ собою плоскость, необходимо допустить, что всѣ предметы, находящіеся на ней и незагороженные другими предметами, болѣе близкими къ мѣсту наблюденія, должны быть, во-первыхъ, видимы на неопредѣленно далекомъ разстояніи и по причинѣ отдаленности имѣть совершенно неопредѣленныя очертанія; во-вторыхъ, на разстояніи возможнаго зрѣнія они должны быть видимы заразъ во всѣхъ своихъ частяхъ отъ основанія до вершины. Между тѣмъ мы знаемъ, что подобныя явленія на земной поверхности не наблюдаются; мы знаемъ, что приближаясь въ открытомъ мѣстѣ къ высокому предмету, мы прежде всего видимъ вершину, потомъ и среднюю часть предмета, и только спустя нѣкоторое время нашимъ взорамъ открывается весь предметъ. Подобное же явленіе происходитъ, только въ обратномъ порядкѣ, при удаленіи отъ высокаго предмета; такъ, напр., наблюдая за удаляющимся въ море судномъ, мы замѣчаемъ, что прежде всего исчезаетъ изъ виду корпусъ судна, потомъ палуба, середины мачтъ, и только на самомъ горизонтѣ становятся невидимыми и верхушки мачтъ. Все это доказываетъ, что земля не представляетъ собою плоскости, а нѣкоторую - кривую поверхность, но такъ какъ при этомъ видимый, напр. на морѣ предметъ извѣстной вышины, какъ показываютъ наблюденія, появляется и исчезаетъ всегда неизмѣнно на извѣстномъ разстояніи отъ наблюдателя, слѣдовательно

кривизна во всѣхъ точкахъ одинакова, то отсюда и заключаемъ, что поверхность земли сферическая.

2. <u>Расширеніе кругозора при поднятіи вверхъ.</u> Если наблюдатель поднимается по отвѣсной линіи надъ землей, то его кругозоръ увеличивается. Пусть сначала мы наблюдаемъ изъ точки A (черт. 8). Пространство земли, видимое нами отсюда, отсѣкается на земной поверхности конусомъ лучей зрѣнія, выходящихъ изъ нашего глаза. A. Конусъ имѣетъ свою ось проходящей черезъ центръ земли и потому, какъ извѣстно, его поверхность встрѣтитъ шаръ по окружности круга, въ данномъ случаѣ радіуса MD



Черт. 8.

Пусть теперь мы поднялись надъ мѣстомъ перваго наблюденія на высоту AB и нашъ глазъ находится въ B . Поле нашего зрѣнія, ограниченное окружностью касанія конуса FBG съ шаромъ, будетъ, понятно, обширнѣе первоначальнаго, такъ какъ радіусъ $NG > MD$

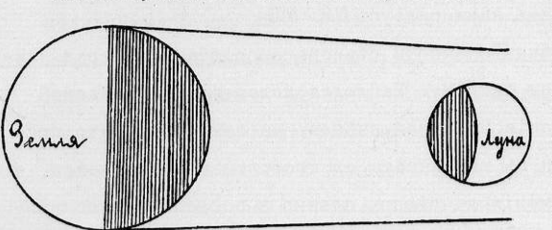
3. <u>Измѣненіе высоты сѣвернаго полюса при передвиженіи къ сѣверу или югу</u>. Наблюдая, положимъ, на небесной сферѣ положеніе Полярной звѣзды, мы замѣчаемъ, что при передвиженіи къ югу высота ея постепенно уменьшается, а при передвиженіи къ сѣверу плавно и постепенно увеличи-

вается.

Это явленіе хорошо наблюдается, напр., при путешествіи на пароходѣ Добровольнаго флота изъ Петербурга во Владивостокъ черезъ Суэцкій каналъ. Въ Суэцѣ высота Полярной звѣзды гораздо меньше, чѣмъ въ Петербургѣ; по мѣрѣ передвиженія по Красному морю Полярная звѣзда приближается къ горизонту и въ Сингапурѣ она лежитъ почти на горизонтѣ . По выходѣ изъ Сингапура пароходъ направляется къ сѣверу, и тотчасъ замѣчается, что Полярная звѣзда поднимается надъ горизонтомъ.

Это явленіе не наблюдалось бы, если бы земля была плоскостью, такъ какъ тогда углы между лучами зрѣнія, идущими къ Полярной звѣздѣ, и поверхностью (плоскостью) земли были бы равны во всѣхъ точкахъ этой поверхности.

<u>Астрономическое</u> доказательство - <u>лунныя затменія</u>. Лунныя затменія (см. гл. 6) какъ извѣстно происходятъ оттого, что земля во время полнолунія отбрасываетъ свою тѣнь на луну. Наблюдая за очертаніями земной тѣни во время лунныхъ затменій, мы даже невооруженнымъ глазомъ замѣчаемъ, что граница земной тѣни на лунномъ дискѣ представляется намъ дугою круга (черт.9); это явленіе происходитъ при различныхъ затменіяхъ, слѣдовательно мы видимъ

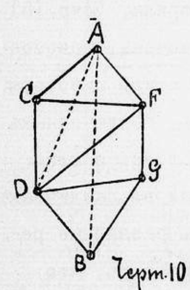


Черт 9

тѣнь, отбрасываемую различными частями земли. Такъ какъ форма тѣни непремѣнно обуславливается формой предмета, то отсюда мы заключаемъ, что земля имѣетъ видъ шарообразный.

Въ этомъ послѣднемъ насъ убѣждаютъ и кругосвѣтныя путешествія. Точное опредѣленіе размѣровъ и вида земли достигается посредствомъ градусныхъ измѣреній при помощи тріангуляціи; эти измѣренія въ общихъ чертахъ производятся слѣдующимъ образомъ.

Чтобы опредѣлить длину дуги меридіана значительной длины, напр. AB (черт.10), по направленію измѣряемой дуги на дѣйствительной поверхности земли составляемъ рядъ треугольниковъ и сторону по крайней мѣрѣ одного изъ нихъ измѣряемъ непосредственно. Обыкновенно измѣряемая сторона или такъ называемый <u>базисъ</u> сѣти треугольниковъ - тріангиляціи - выбирается по возможности на ровномъ мѣстѣ и опредѣляется съ возможною точностью. Кромѣ того, непосредственно измѣряемъ всѣ углы сѣти треугольниковъ при ихъ вершинахъ.



Черт.10

Пусть за базисъ была принята сторона AC ; такъ - какъ въ треугольникѣ ACF считаются извѣстными изъ измѣреній всѣ углы, то всѣ элементы этого треугольника могутъ быть вычислены, и, между прочимъ, сторона CF ;зная сторону CF и углы DCF и CFD изъ измѣреній, мы найдемъ всѣ элементы треугольника CDF и т.д., однимъ словомъ,

можемъ опредѣлить всѣ элементы всѣхъ треугольниковъ сѣти. Если теперь соединимъ точку A съ точками D и B прямыми линіями, то въ треугольникѣ ACD будутъ извѣстны двѣ стороны AC и CD и уголъ между ними $ACD = \angle ACF + \angle FCD$, слѣдовательно, можетъ быть вычислена сторона AD и уголъ ADC. Вычтя этотъ уголъ изъ суммы угловъ $CDF + FDG + GDB$, получимъ уголъ ADB, который лежитъ между двумя извѣстными сторонами AD и DB; слѣдовательно, можемъ опредѣлить длину искомой дуги AB

Если дуга AB расположена по меридіану, то легко можемъ найти число градусовъ, которое заключается въ ней, такъ какъ для этого, какъ мы говорили, (стр. I5) достаточно опредѣлить широты данныхъ точекъ: искомое число градусовъ будетъ равно разности этихъ широтъ, а по данной длинѣ дуги и числу градусовъ, заключенныхъ въ ней, легко (стр. I4) опредѣлить и радіусъ земли.

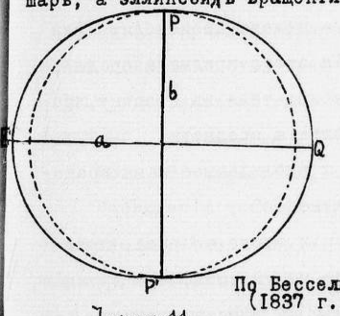
Различныя измѣренія, произведенныя въ различныхъ точкахъ земной поверхности, дали столь различные результаты, что не оставалось сомнѣнія въ томъ, что земля въ полной строгости не есть шаръ.

Не перечисляя всѣхъ измѣреній, произведенныхъ въ разное время въ различныхъ странахъ, приведемъ лишь результаты этихъ измѣреній.

Мѣсто, гдѣ производились измѣренія.	Средняя широта.	Длина дуги меридіана въ I°
Лапландія.........	66°20'	III477 метр.
Россія............	56°25'	III360 "

Англія............	52°2'	III224 метр.
Франція, Испанія....	46°8'	III43 "
О.-Индія..........	22°37'	II0668 "
Бенгалія..........	I2°32'	II063I "
Перу..............	I°31'	II0582 "

Отсюда видно, что градусъ меридіана у полюсовъ длиннѣе, чѣмъ на экваторѣ, откуда слѣдуетъ, что земля должна быть у полюсовъ нѣсколько сжата, а на экваторѣ расширена. Такимъ образомъ, земля, строго говоря, есть не шаръ, а эллипсоидъ вращенія (на черт. II сѣченіе земного эллипсоида по меридіану) хотя и съ весьма малымъ эксцентриситетомъ.



Черт. 11.

Приведемъ данныя, относящіяся къ размѣрамъ земного эллипсоида.

	По Бесселю (1837 г.)	По Кларку (1878 г.)	По новѣйшимъ даннымъ.
Размѣры полуосей: a =	6377397 м.	637819I м.	63787I6 м.
b =	6356078 м.	6356457 м.	6356863 м.
Сжатіе $\frac{a-b}{a}$ =	$\frac{I}{299.2}$	$\frac{I}{293.5}$	$\frac{I}{292}$

3. ВРАЩЕНІЕ ЗЕМЛИ.

Наблюдая небо, мы видимъ, что солнце утромъ появляется на востокѣ, поднимается выше въ небесномъ пространствѣ, достигаетъ въ полдень своего кульминаціоннаго пункта, чтобы затѣмъ, спускаясь къ западу, исчезнуть за горизонтъ. Послѣ солнечнаго заката взоры наблюдателя привле-

каютъ яркія звѣзды, положеніе которыхъ относительно горизонта точно такъ же равномѣрно и постепенно мѣняется: происходитъ восходъ и заходъ за горизонтъ однѣхъ звѣздъ и движеніе по кривой другихъ никогда не исчезающихъ за горизонтъ; въ то же время взаимное расположеніе звѣздъ не измѣняется. Итакъ, повидимому, небесный сводъ со всѣми, какъ бы къ нему прикрѣпленными свѣтилами, вращается вокругъ земли, совершая полный оборотъ въ 24 часа.

Ежедневный опытъ насъ учитъ, что наблюдаемое нами движеніе какого-нибудь предмета можетъ происходить или отъ дѣйствительнаго перемѣщенія этого предмета среди другихъ,или же отъ движенія наблюдателя въ сторону,противоположную кажущемуся перемѣщенію предмета.

Спрашивается, не есть ли и наблюдаемое нами вращеніе небеснаго свода только кажущееся?

Если мы обратимся къ исторіи этого вопроса, представляющей большой интересъ, то мы увидимъ, что древніе, принимая всякое видимое движеніе за дѣйствительное, допускали дѣйствительное обращеніе небесной сферы вокругъ неподвижной земли. Никто никогда не видалъ, никто не слыхалъ и не чувствовалъ движенія земли, и возможно ли было сомнѣваться въ свидѣтельствѣ зрѣнія, слуха и осязанія. Они не знали, что наши чувства несовершенны и часто насъ обманываютъ; нѣтъ поэтому ничего удивительнаго, что ученіе о неподвижности земли, подкрѣпленное геніемъ Аристотеля, принималось всѣми и безпрекословно удерживалось до Коперника (XVI в.), высказавшаго гипотезу о вращательномъ движеніи земли.

Говорятъ, правда, что уже Пиѳагоръ училъ, что не солнце и звѣзды вращаются вокругъ земли, а земля вокругъ солнца и своей оси, но онъ не возвѣщалъ своего ученія публично, и при томъ взгляды его не подтверждались никакими прочными доводами.

Коперникъ построилъ свою систему міра въ предположеніи, что кажущееся движеніе небеснаго свода происходитъ оттого, что наблюдатель, движется съ запада на востокъ вмѣстѣ съ землей, совершающей полный оборотъ въ 24 часа. Во время Коперника не было никакихъ физическихъ доказательствъ вращенія земли, поэтому онъ для подтвержденія своей гипотезы пользовался только умозрительными, логическими доказательствами.

Вотъ его доказательства.

Наблюденія показываютъ, что всѣ звѣзды, сохраняя относительное положеніе, описываютъ полные параллельные круги въ теченіе 24 часовъ. Допуская, что это движеніе реальное, т.е. въ дѣйствительности происходящее, мы должны допустить существованіе безконечнаго числа условій, необходимыхъ для его осуществленія, безконечнаго числа причинъ, породившихъ эти условія и сверхъ того, существованіе безконечнаго числа слѣдствій, вытекающихъ изъ этихъ условій, и все это должны признать для объясненія только одного факта; умъ нашъ не можетъ допустить этого согласно законамъ логическаго мышленія.

Въ самомъ дѣлѣ, давно уже было установлено, что свѣтила находятся не на одинаковыхъ разстояніяхъ отъ

земли, и что эти разстоянія по большей части чрезвычайно велики; слѣдовательно, мы должны допустить, что каждая звѣзда имѣетъ свою линейную скорость и при томъ такую, чтобы сохранены были относительныя положенія звѣзды; кромѣ того, свѣтила, лежащія чрезвычайно далеко должны обладать чрезвычайно большими скоростями. Итакъ, должна существовать особая причина, сообщающая каждой звѣздѣ свою линейную скорость, особая причина, заставляющая вращаться по кругу, особая причина - удерживающая плоскость вращенія параллельно другимъ плоскостямъ вращенія, но такъ какъ звѣздъ чрезвычайно много, то и причинъ должно быть безконечно много.

Все это слишкомъ неправдоподобно и сложно, чтобы повѣрить его дѣйствительности. Несравненно легче и цѣлесообразнѣе объясняются всѣ явленія, если допустить вращеніе земли вокругъ своей оси съ запада на востокъ, т.е. въ сторону, обратную видимому движенію небеснаго свода: сразу уничтожается вся прежняя сложность, и всѣ явленія видимаго движенія небеснаго свода объясняются одной единственной причиной, но такъ какъ движенія земли замѣтить непосредственно мы не можемъ, то намъ кажется, что вращается небесный сводъ.

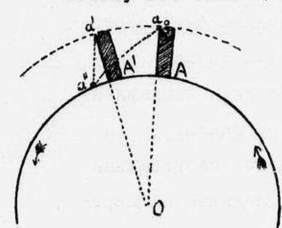
Въ настоящее время мы имѣетъ несомнѣнныя физическія доказательства вращенія земли, къ изложенію которыхъ и переходимъ.

I. Уклоненіе падающихъ тѣлъ къ востоку. Ученіе Коперника, какъ и слѣдовало ожидать, встрѣтило много противниковъ; сторонники древней школы - ученія о неподвижности земли - изложили въ сочиненіи "Almagestum novum" 70 возраженій противъ ученія Коперника. Приведемъ нѣкоторыя изъ нихъ, чтобы имѣть понятіе о "вѣскости" этихъ возраженій.

Они говорили, что въ случаѣ вращенія земли должны были бы наблюдаться нѣкоторыя явленія, которыхъ однако они не видятъ. Они говорили, что ласточка, разъ покинувъ свое гнѣздо, не имѣла бы силъ вернуться въ него, такъ какъ во время ея отсутствія гнѣздо съ прочими предметами земной поверхности унеслось бы далеко къ востоку. Они говорили, что поднявшаяся отвѣсно стрѣла при отсутствіи вѣтра падала бы далеко къ западу, а между тѣмъ она возвращается къ ногамъ стрѣлка.

Въ этихъ двухъ примѣрахъ они дѣлали грубую ошибку въ сужденіи вслѣдствіе незнанія механическаго закона относительнаго движенія, по которому, если точка, принадлежащая къ какой-нибудь системѣ, движется, то это движеніе относительно прочихъ точекъ системы происходитъ безразлично - находится ли система въ покоѣ или въ движеніи. Въ силу закона инерціи тѣло, падая съ высоты, не только не отстанетъ отъ вращающейся земли, но и опередитъ ее.

Почему это такъ происходитъ, объяснить очень легко.

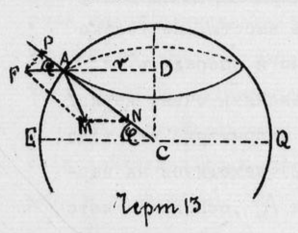


Положимъ, напримѣръ, что тѣло a (черт. I2) находится на вершинѣ башни A, основаніе которой движется конечно, съ меньшей скоростью, чѣмъ вершина, такъ какъ оно въ одно и то же

время описываетъ дугу меньшаго радіуса. Тѣло a, имѣя скорость вершины башни, опишетъ въ силу инерціи во время своего отвѣснаго паденія дугу aa', большую, чѣмъ дуга AA', которую въ то же время пройдетъ основаніе башни A, и потому упадетъ къ востоку отъ A' въ нѣкоторую точку a'', тогда какъ основаніе башни будетъ въ это время лишь въ A'. Истинный путь тѣла будетъ кривая aa''. Такъ произойдетъ явленіе на экваторѣ. Если же тѣло будетъ брошено на какой-нибудь широтѣ $\varphi > 0$, то оно отклонится еще и къ экватору. Опыты въ глубокихъ шахтахъ подтвердили эти теоретическія разсужденія.

2. Измѣненіе силы тяжести въ различныхъ точкахъ земли.

Если земля вращается, то всѣ предметы на ея поверхности должны описывать круги, слѣдовательно, должны быть подвержены вліянію центробѣжной силы, которая должна уменьшать вѣсъ предметовъ тѣмъ болѣе, чѣмъ она сама значительнѣе. Примемъ землю за шаръ и возьмемъ ея меридіональное сѣченіе EPQ (черт. 13). Обозначимъ силу тяжести, дѣйствующую на земной поверхности въ случаѣ неподвижности земли, черезъ g; она должна быть постоянной во всѣхъ точкахъ земной поверхности и направленной къ центру земли.



Черт 13

Въ случаѣ вращенія земли разовьется цетробѣжная сила, которая, положимъ, въ точкѣ A, лежащей на широтѣ φ, будетъ дѣйствовать по направленію AF; пусть эта сила изображается отрѣзкомъ AF, а сила тяжести въ той же точкѣ изображается отрѣзкомъ AN; равнодѣйствующая этихъ двухъ силъ будетъ направлена по діагонали AM параллелограмма, построеннаго на составляющихъ силахъ; эта равнодѣйствующая и будетъ наблюдаемая сила тяжести въ данной точкѣ; обозначимъ ее черезъ g_φ и постараемся вычислить ее. Возьмемъ проекцію центробѣжной силы на направленіе AC; пусть эта проекція изображается отрѣзкомъ AP. Тогда по правилу сложенія силъ имѣемъ:

$$g_\varphi = g - AP$$

Обозначивъ центробѣжную силу AF черезъ f, которая, какъ извѣстно, выражается формулой $f = \frac{v^2}{r}$, гдѣ v линейная скорость данной точки, а r радіусъ круга, описываемаго ею, будемъ имѣть:

$$AP = f\cos\varphi = \frac{v^2}{r}\cos\varphi \; ; \text{ но } v = \frac{2\pi r}{t}$$ гдѣ t промежутокъ въ теченіе котораго точка A опишетъ полную окружность, т. е. t равно продолжительности звѣздныхъ сутокъ, и $r = R\cos\varphi$, гдѣ R - радіусъ земли, а поэтому

$$AP = \frac{4\pi^2 r^2}{t^2 \cdot r}\cos\varphi = \frac{4\pi^2 R}{t^2}\cos^2\varphi$$

и

$$g_\varphi = g - \frac{4\pi^2 R}{t^2}\cos^2\varphi$$

Такъ какъ на экваторѣ $\varphi = 0°$, а на полюсахъ $\varphi = 90°$, то наблюдаемая сила тяжести имѣетъ наименьшее значеніе на экваторѣ, а наибольшее на полюсахъ.

Полученную формулу можно преобразовать еще такъ:

$$g_\varphi = g - \frac{4\pi^2 R}{t^2} + \frac{4\pi^2 R}{t^2}\sin^2\varphi \text{; такъ какъ } g_0 = g - \frac{4\pi^2 R}{t^2}, \text{ то}$$

$$g_\varphi = g_0 + \frac{4\pi^2 R}{t^2}\sin^2\varphi \text{ или}$$

$$g_\varphi = g_0\left[1 + \frac{4\pi^2 R}{t^2 g_0}\sin^2\varphi\right];$$

такъ какъ

$\frac{4\pi^2 R}{t^2 g_0} = const.$, то обозначивъ эту величину черезъ m, имѣемъ:

$$g_\varphi = g_0 (1 + m \sin^2\varphi)$$

Подставляя въ выраженіе для $m = \frac{4\pi^2 R}{t^2 g_0}$ величины: $\pi = 3{,}14$; $R = 637800$м.; $g_0 = 9^m{,}7274$; $t = 23^h 56^m 4^s$. I средняго времени, найдемъ, что $m = \frac{1}{289}$.

Эта формула дана Клэро въ XVIII столѣтіи и имъ же доказано, что эта формула имѣетъ тотъ же видъ, если землю принять за эллипсоидъ вращенія, только коэффиціентъ m нѣсколько иной, а именно, такъ какъ въ случаѣ эллипсоидальности земли точки на экваторѣ отстоятъ дальше отъ центра, то, независимо отъ другихъ условій, тяготѣніе на полюсахъ должно быть больше, чѣмъ на экваторѣ: отъ вращенія земли то же явленіе; обѣ эти причины складываются въ одну, и поэтому коэффиціентъ увеличивается (при сферической формѣ земли $m = \frac{1}{289}$; при эллипсоидальной формѣ $m = \frac{1}{191}$).

Слѣдовательно, если наблюдаемая и вычисляемая по вышеприведенной формулѣ силы тяжести согласуются, то это должно служить неоспоримымъ доказательствомъ вращенія земли.

Но какъ опредѣлить измѣненіе силы тяжести въ различныхъ точкахъ? Опредѣлить это измѣненіе при помощи обыкновенныхъ вѣсовъ, конечно, невозможно, такъ какъ одинаковую, положимъ, потерю вѣса на экваторѣ испытаетъ какъ тѣло, такъ и гиря. Для этой цѣли могли бы служить пружинные вѣсы, доведенные до значительной степени точности и чувствительности, но при помощи ихъ нельзя достигнуть точныхъ результатовъ.

Могла бы служить для этой цѣли и машина Атвуда, такъ какъ мы знаемъ, что удвоенное пространство, проходимое въ первую секунду времени свободно падающимъ тѣломъ, численно равно силѣ тяжести въ этомъ мѣстѣ, но и этотъ методъ не даетъ точныхъ результатовъ.

Наиболѣе точные результаты получаются изъ наблюденій надъ измѣненіемъ времени качаній маятника.

Изъ теоріи маятника извѣстно, что если l есть длина маятника, g_φ напряженіе силы тяжести, то время T одного качанія маятника выражается формулой:

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g_\varphi}};$$

въ другомъ какомъ-нибудь мѣстѣ:

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g_{\varphi_1}}}$$

Отношеніе этихъ двухъ равенствъ даетъ:

$$\frac{g_{\varphi_1}}{g_\varphi} = \frac{T^2}{T_1^2}$$; полагая $\varphi = 0°$, находимъ

$$g_{\varphi_1} = \frac{T^2}{T_1^2} g_0$$

Иначе, $g_{\varphi_1} = \frac{\pi^2 l}{T_1^2}$; для другого мѣста: $g_{\varphi_2} = \frac{\pi^2 l}{T_2^2}$

Наблюдая времена качаній маятника, будемъ знать T_1 и T_2; l также извѣстно, такъ что можемъ легко найти g_{φ_1} и g_{φ_2} и сравнить съ величинами полученными изъ приведенной выше формулы: $g_\varphi = g_0(1 + m\sin^2\varphi)$. Если эти величины, согласуются, то это служитъ неоспоримымъ доказательствомъ вѣрности исходнаго положенія, а именно, вращательнаго движенія земли.

Приведемъ числа для величины g_φ въ различныхъ точкахъ земной поверхности; столбецъ g_φ (O.) содержитъ наблюденныя величины, силы тяжести (O. = observé), столбецъ g_φ (C.)-вычисленныя (C. = calculé) по формулѣ $g_\varphi = 9^m{,}7274 \left(1 + \frac{1}{191}\sin^2\varphi\right)$, а столбецъ содержитъ разности

въ четвертыхъ десятичныхъ знакахъ между наблюденной и вычисленной силой тяжести.

Мѣсто.	φ	g_φ(o.)	g_φ(c.)	Δ(o.-c.)
Шпицбергенъ.	+79°50′0	9ᵐ7769	9ᵐ7768	+I
Пэтербургъ..	+59°56′5	9,7654	9,7656	-2
Гота.......	+50°56′6	9,7568	9,7582	-I4
Нью-Іоркъ...	+40°42′7	9,7486	9,749I	-5
Мадрасъ.....	+I3°4′2	9,7293	9,7300	-7
Галапагосскіе о-ва....	+0°32′3	9,7275	9,7274	+I
О-въ Вознесенія.....	-7°55′4	9,7292	9,7284	+8
Ріо-де-Жанейро......	-22°55′4	9,7343	9.735I	-8
Вальпарайсо.	-33°2′5	9,74I9	9,7426	-7
Фалкландскіе о-ва.....	-5I°3I′7	9,7580	9,7587	-7
Юж.Шотландія	-62°56′2	9,768I	9.7679	+2

Въ этихъ числахъ можно ручаться за десятыя доли миллиметра, такъ какъ такая точность достигается въ наблюденіяхъ, производимыхъ при помощи маятника съ новѣйшими приборами. Нѣкоторая разница между наблюденной и вычисленной силой тяжести вызывается тѣмъ, что геоидъ - истинная форма земли-отличается отъ эллипсоида.

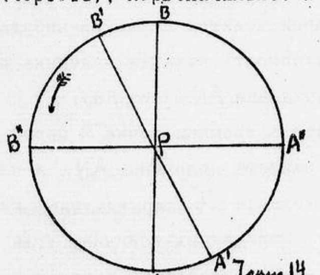
Первое научное опредѣленіе силы тяжести въ различныхъ мѣстахъ было произведено въ 1827 г. флотскимъ офицеромъ Литке на шлюпкѣ "Синявинѣ"

Замѣтимъ, что въ послѣднее время наблюденія измѣненія силы тяжести пріобрѣло особый интересъ потому, что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ g_φ не мѣняется такъ плавно, какъ этого требуетъ формула; это такъ называемыя мѣстныя уклоненія или мѣстныя аномаліи, причину которыхъ слѣдуетъ искать въ неравномѣрномъ распредѣленіи массъ подъ поверхностью земли. Такія мѣстныя уклоненія найдены, напримѣръ, подъ Москвой проф. Б.Я.Швейеромъ.

3. Измѣненіе направленія плоскости качанія свободнаго маятника.

Извѣстно, что плоскость качанія маятника не зависитъ отъ движенія точки привѣса, т.е. плоскость эта постоянна. Если штативъ, къ которому прикрѣпленъ маятникъ, будемъ вращать въ сторону, то плоскость качанія маятника, сохраняя свое прежнее положеніе относительно окружающихъ неподвижныхъ предметовъ, т.е. оставаясь абсолютно неизмѣнной, въ то же время относительно основанія штатива будетъ имѣть другое положеніе, и если по какимъ-нибудь причинамъ мы не можемъ замѣтить движенія штатива, то взамѣнъ этого замѣтимъ кажущееся движеніе плоскости качанія маятника. Послѣднее явленіе наблюдается на земной поверхности.

Положимъ, маятникъ находится на земномъ полюсѣ (черт.14); первоначальное положеніе плоскости качанія AB. Затѣмъ, двигаясь по направленію внѣшней стрѣлки точка B (на земной поверхности) отступитъ влѣво въ B′, а точка A вправо въ A′, плоскость же качанія останется въ прежнемъ своемъ положеніи



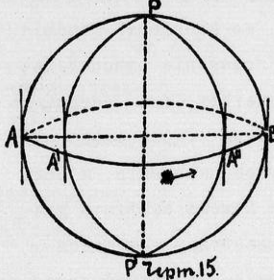
Черт.14

Наблюдателю, участвующему во вращеніи земли, бу-

ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. С. Б-ГРЕБЕЦКАЯ 49-6 - СПБ.

детъ казаться, что плоскость качанія маятника перемѣстилась вправо изъ $A'B'$ въ AB. Черезъ 6 часовъ линія первоначальнаго качанія маятника приметъ положеніе $A''B''$, перпендикулярное къ AB, а черезъ сутки, когда земля сдѣлаетъ полный оборотъ, линія AB совершитъ тоже полный оборотъ и придетъ въ прежнее свое положеніе.

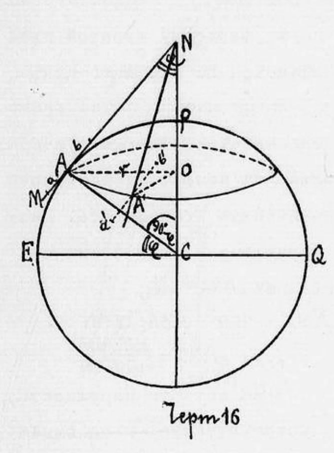
Пусть теперь маятникъ находится на экваторѣ AB въ точкѣ A (черт. 15) и пусть онъ качается по направленію полуденной линіи мѣста A. Здѣсь уже при движеніи земли и перемѣщеніи A въ A', A'', и т.д. измѣненія положенія плоскости качанія не будетъ наблюдаться, такъ какъ полуденная или меридіональная линія движется параллельно оси движенія и самой себѣ, а слѣдовательно и совпадающая съ ней по направленію плоскость качанія маятника не измѣнитъ своего положенія относительно окружающихъ предметовъ.



P Черт.15.

Пусть теперь опытъ производится на какой-нибудь широтѣ $(90^{\circ} > \varphi > 0^{\circ})$, и плоскость качанія маятника совпадаетъ съ плоскостью меридіана AN (черт.16).

Черезъ малый промежутокъ времени точка A перейдетъ въ A', меридіанъ AN займетъ положеніе $A'N$, а плоскость качанія займетъ положеніе $a'b'$, параллельное своему прежнему положенію ab. Опредѣлимъ величину угла $b'A'N = \angle ANA'$ кажущагося отклоненія плоскости качанія маятника отъ прежняго положенія. Такъ какъ мы разсматриваемъ незначительный промежутокъ времени, то дугу AA' можно разсматривать какъ хорду, а потому изъ треугольника ANA' имѣемъ:



Черт 16

$$AA' = 2AN \sin\tfrac{1}{2}(ANA')$$

съ другой стороны, изъ треугольника AOA' имѣемъ

$AA' = 2r\sin\frac{1}{2}(AOA')$, такъ что $2AN\sin\frac{1}{2}(ANA') = 2r\sin\frac{1}{2}(AOA')$ и $\sin\frac{1}{2}(ANA') = \frac{r}{AN}\sin\frac{1}{2}(AOA')$. Изъ треугольника ANO имѣемъ:

$$\frac{r}{AN} = \sin(ANO) = \sin\varphi,$$

такъ что:

$$\sin\tfrac{1}{2}(ANA') = \sin\varphi\,\sin\tfrac{1}{2}(AOA')$$

Уголъ при точкѣ O тотъ, на который повернется точка A въ теченіе разсматриваемаго промежутка времени; если возьмемъ 1^{s}, то $\angle O = 15''$, такъ какъ

24^{h}	соотвѣтствуютъ	360°;
1^{h}	"	15°
1^{m}	"	$15'$;
1^{s}	"	$15''$;

въ t^{s} уг. $O = (15t)''$, поэтому:

$$\sin\tfrac{1}{2}(ANA') = \sin\varphi\,\sin\tfrac{1}{2}(15t)''$$

Такъ какъ уголъ ANA' и $(15t)''$ небольшіе, то можемъ замѣнить sinus'ы ихъ дугами:

$\angle ANA' = 15t.\sin\varphi$ откуда

въ t^{s} $\angle ANA' = 15t^{s}\sin\varphi$

въ t^{m} $\angle ANA' = 60.15.t^{s}\sin\varphi = 15t^{m}\sin\varphi$

въ t^h $\angle ANA' = 15.t^h.\sin\varphi$

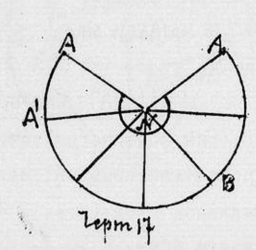
въ 24^h $\angle ANA' = 360^\circ.\sin\varphi$

Итакъ, мы видимъ, что подъ нѣкоторой широтой плоскость качанія маятника измѣняется на $360^\circ \sin\varphi$. Какъ уяснить это физически?

Меридіональная линія описываетъ полную окружность въ теченіе сутокъ только на полюсѣ, а на нѣкоторой широтѣ она опишетъ коническую поверхность. Разрѣжемъ эту поверхность по меридіану и совмѣстимъ съ плоскостью. (черт. 17) Опредѣлимъ $\angle ANA' = \angle N$;

$\angle ANA' : 360^\circ = ABA' : 2\pi AN$

откуда $\angle ANA' = \frac{360^\circ . ABA'}{2\pi . AN}$



Черт 17

но ABA' есть та окружность, которую точка A описываетъ въ теченіе сутокъ, т.е. малый кругъ радіуса r, такъ что $ABA' = 2\pi r$, а поэтому

$\angle ANA' = \frac{360^\circ . 2\pi r}{2\pi AN} = 360^\circ . \frac{r}{AN}$

но мы видѣли, что $\frac{r}{AN} = \sin\varphi$, а поэтому

$\angle ANA' = 360^\circ \sin\varphi_0$

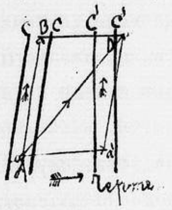
На полюсѣ $\sin\varphi = 1$ и $\angle ANA' = 360$; на экваторѣ $\sin\varphi = 0$ и $\angle ANA' = 0$

Опытъ надъ маятникомъ, наглядно доказывающій вращеніе земли, произведенъ въ первый разъ французскимъ ученымъ Фуко (Foucault) въ Парижскомъ Пантеонѣ, отчего и названъ его именемъ (опытъ Фуко).

4. Размытіе правыхъ береговъ рѣкъ въ сѣверномъ полушаріи и лѣвыхъ - въ южномъ, какъ бы рѣка ни текла

Явленіе это открыто профессоромъ Юрьевскаго университета Беромъ (Beer) и потому носитъ названіе закона Бера.

Объяснить это явленіе, допуская вращеніе земли, очень легко. Разсмотримъ случай, когда рѣка течетъ, положимъ, къ сѣверу и находится въ сѣверномъ полушаріи; пусть берега ея будутъ CC (черт. 18).

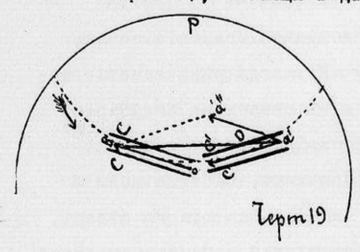


Положимъ, частица воды a двигаясь съ юга на сѣверъ, въ данный моментъ находится по серединѣ рѣки. Черезъ единицу времени, рѣка, вращаясь вмѣстѣ съ землей, приметъ положеніе CC'; частица воды a перемѣстилась бы въ силу этого движенія въ a' на пространство aa, если бы не имѣла еще поступательнаго движенія на сѣверъ со скоростью AB въ единицу времени и потому должна въ моментъ положенія рѣки CC въ CC' находиться въ a''; стремясь стать въ положеніе точки a'', она встрѣтитъ правый берегъ рѣки и ударится о него въ точкѣ D.

Каждая другая частица сдѣлаетъ тоже самое, вслѣдствіе чего правый берегъ будетъ размываться и отодвигаться на востокъ до тѣхъ поръ, пока не встрѣтитъ высокаго и каменистаго грунта, который туго будетъ поддаваться разрушающему вліянію. Такимъ образомъ, правый берегъ будетъ гористый, а лѣвый, бывшій нѣкогда русломъ рѣки, будетъ низменный.

Разсмотримъ теперь случай, когда рѣка течетъ по

параллели, положимъ, противъ вращенія земли. Пусть въ нѣкоторый промежутокъ времени рѣка занимаетъ положеніе CC (черт.19); частицы воды a, находящаяся по серединѣ рѣки, движется по направленію aB со скоростью aB черезъ единицу времени рѣка приметъ положеніе $C'C'$, а частица воды, стремясь стать въ положеніе a'', ударится въ правый берегъ рѣки въ точкѣ D



Черт.19

Подобное явленіе произойдетъ во всѣхъ случаяхъ, какъ бы рѣка ни текла; объясняется это подобно разсмотрѣннымъ случаямъ.

Въ южномъ полушаріи будутъ размываться лѣвые берега Объясняется такимъ же образомъ.

Кромѣ того, статистика показала, что правые рельсы двухколейныхъ желѣзныхъ дорогъ сѣвернаго полушарія изнашиваются скорѣе лѣвыхъ. Въ южномъ полушаріи наоборотъ.

Причина этого явленія та же и объясненіе тождественно предыдущему, только тутъ роль водяной частицы играетъ выдающаяся и обхватывающая рельсъ часть вагоннаго колеса.

5. Пассаты, муссоны, циклоны. Извѣстно, что въ сѣверномъ полушаріи въ странахъ, лежащихъ между экваторомъ и 30° сѣверной широты дуетъ постоянный вѣтеръ, а именно, сѣверо-восточный (NO), называемый пассатомъ, а въ южномъ полушаріи въ соотвѣтствующей области дуетъ юго-

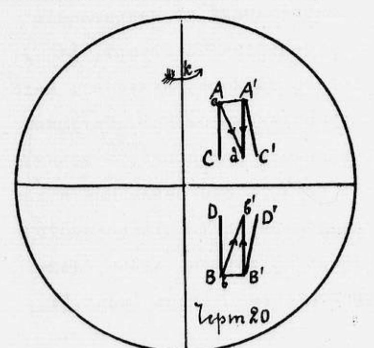
восточный (SO) пассатъ.

Воздухъ, вслѣдствіе болѣе сильнаго нагрѣванія экваторіальныхъ странъ, чѣмъ полюсовъ, дѣлаясь на экваторѣ болѣе легкимъ, стремится подняться вверхъ, уступая мѣсто болѣе холоднымъ воздушнымъ частицамъ, лежащимъ по обѣимъ сторонамъ экватора ближе къ полюсамъ, слѣдовательно происходитъ теченіе воздушныхъ частей отъ сѣвера и юга къ экватору, отчего повидимому, должны дуть въ упомянутыхъ областяхъ - въ сѣверномъ полушаріи постоянный сѣверный, а въ южномъ полушаріи южный, тогда какъ на самомъ дѣлѣ наблюдаются сѣверо-восточные и юго-восточные вѣтры.

Такое направленіе этихъ вѣтровъ невозможно понять, не допустивъ вращенія земли, если даже примемъ во вниманіе неоднородность земли, а потому неодинаковость ея нагрѣванія.

Причиной же земного вращенія легко объяснить направленія пассатовъ.

Положимъ, что въ данный моментъ надъ точкой A (черт. 20) земной поверхности находится воздушная частица a, идущая съ сѣвера къ экватору.



Черт.20

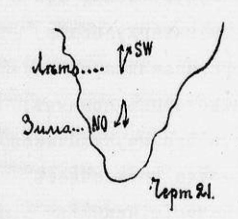
Въ единицу времени, вслѣдствіе вращенія земли въ сторону, показанную стрѣлкой k, точка A перейдетъ въ A'; частица воздуха a, имѣя два движенья: одно на

югъ, со скоростью AC въ единицу времени, а другое вращательное, вмѣстѣ съ землей, со скоростью AA', и повинуясь этимъ двумъ силамъ, пойдетъ по діагонали параллелограмма, построеннаго на данныхъ скоростяхъ, т.е. по линіи Aa'. Въ тоже время мѣсто C, лежащее на одномъ меридіанѣ съ A, но южнѣе, перейдетъ въ C'; слѣдовательно, точка a въ положеніи a' отодвинется къ западу отъ C', по отношенію же къ A' она передвинется къ юго-западу, и потому будетъ казаться, что она движется по линіи $A'a'$; такъ какъ за направленіе вѣтра принимается то, откуда онъ дуетъ, то въ A' будетъ дуть сѣверо-восточный вѣтеръ (NO)

Объяснить юго-восточный пассатъ также легко. Мѣсто B (черт.20) на земной поверхности въ единицу времени перейдетъ въ B', частица же воздуха b, идущая съ юга по направленію со скоростью BD, будетъ повиноваться двоякому движенію и пойдетъ по діагонали Bb' и въ концѣ промежутка очутится въ b'; такъ какъ меридіанъ мѣста въ тотъ же моментъ приметъ положеніе $B'D'$, то будетъ казаться, что частица b отступила отъ мѣста B, находящагося въ положеніи B', къ сѣверо-западу по направленію $B'b'$, а потому будетъ дуть юго-восточный вѣтеръ (SO).

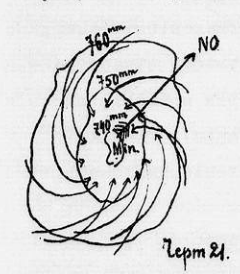
Пассаты наблюдаются только на морѣ, вдали отъ материковъ, и преимущественно въ Великомъ океанѣ. Материки сильно дѣйствуютъ на направленіе и правильность теченія пассатовъ; примѣромъ можетъ служить Восточная Индія, лежащая въ тѣхъ широтахъ, гдѣ долженъ дуть сѣверо-восточный пассатъ. Зимой, съ октября до апрѣля, здѣсь, дѣйствительно, и дуетъ сѣверо-восточный вѣтеръ (черт.21),

но лѣтомъ огромный материкъ нагрѣвается сильнѣе океана; появляется теченіе воздушныхъ частицъ къ сѣверу, которыя вслѣдствіе вращательнаго движенія земли отклоняются къ востоку, такъ что появляются юго-западные вѣтры дующіе безпрестанно отъ апрѣля, до октября. Эти вѣтры называются муссонами или мунсонами.



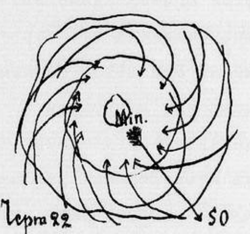
Черт 21.

Линіи, соединяющія мѣста съ одинаковыми высотами барометра, или иначе, съ одинаковымъ атмосфернымъ давленіемъ, называются изобарами. Наблюденія показываютъ, что очень часто изобары располагаются симметрично относительно нѣкотораго центра, гдѣ находится барометрическій минимумъ; тогда является вихреобразное движеніе воздуха, называемое циклономъ, въ которомъ частицы воздуха описываютъ кривую линію около барометрическаго минимума, постепенно приближаясь къ нему, при чемъ въ сѣверномъ полушаріи это движеніе происходитъ обратно движенію часовой стрѣлки (черт.21), а въ южномъ полушаріи по часовой стрѣлкѣ (черт. 22). Кромѣ того, какъ показываютъ наблюденія, барометрическій минимумъ или центръ циклона самъ имѣетъ поступательное движеніе: въ сѣверномъ полушаріи чаще всего на С-В, а въ южномъ полушаріи на Ю-В. Разберемъ механическую причину зарожденія и движенія циклоновъ. Предста-



Черт 21.

вимъ себѣ область, гдѣ подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей нагрѣваются слои воздуха: внизу будутъ болѣе теплые и, слѣдовательно, болѣе легкіе, а наверху болѣе холодные и болѣе тяжелые, такъ что устанавливается неустойчивое равновѣсіе; достаточно нѣкоторыхъ причинъ, чтобы нарушить это неустойчивое равновѣсіе; тогда произойдетъ постепенное теченіе нижнихъ слоевъ вверхъ, вслѣдствіе чего образуется барометрическій минимумъ; окружающій эту область воздухъ начнетъ притекать по направленію къ минимуму, но силой вращенія земли частицы воздуха, подобно тому, какъ частицы воды въ рѣкахъ, будутъ отбрасываться въ сѣверномъ полушаріи всегда направо, а въ южномъ полушаріи налѣво, вслѣдствіе чего и получатся указанныя движенія воздушныхъ частицъ обратно и по часовой стрѣлкѣ.



Черт. 22

Направленіе циклона въ своемъ поступательномъ движеніи тоже объясняется вращательнымъ движеніемъ земли, которое даетъ движенію направленіе - вмѣсто сѣвернаго - сѣверо-восточное (въ сѣверномъ полушаріи и вмѣсто южнаго - юго-восточное (въ южномъ полушаріи). Иногда, впрочемъ, встрѣчаются и другія направленія циклоновъ, вызываемыя мѣстными условіями.

4. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНІЕ СОЛНЦА.

Солнце, какъ и всѣ другія звѣзды и небесныя тѣла, совершаетъ общее всему небесному своду суточное движеніе около оси міра x). Но еще древніе замѣтили, что кромѣ этого движенія оно имѣетъ и другое, вслѣдствіе котораго положеніе его относительно неподвижныхъ звѣздъ на небесной сферѣ постоянно мѣняется.

Существованіе этого послѣдняго движенія подтверждается различными явленіями.

Во-первыхъ, склоненіе солнца въ различные дни и моменты наблюденія различны. Это видно изъ того, напримѣръ, что меридіональныя высоты солнца въ разное время различаются между собою; особенно же ясно измѣненіе склоненій солнца можно вывести изъ наблюденій надъ его восхожденіями и захожденіями.

Дѣйствительно, точки восхода и заката солнца въ различные дни не одинаковы: иногда оно восходитъ въ точкѣ востока и заходитъ въ точкѣ запада; иногда точки восхода и заката перемѣщаются по направленію къ сѣверу; а иной разъ мы наблюдаемъ восхожденіе и закатъ солнца въ южной части горизонта.

Отсюда слѣдуетъ, что должно измѣняться склоненіе солнца, такъ какъ въ противномъ случаѣ солнце подобно неподвижнымъ звѣздамъ совершало бы свое суточное движеніе относительно горизонта всегда одинаково.

Наблюденія надъ появленіемъ первыхъ звѣздъ служитъ тоже очевиднымъ доказательствомъ этого второго собственнаго движенія солнца.

Если мы въ извѣстный день замѣтимъ послѣ заката

---

x) Движеніе это, какъ мы видѣли изъ предшествующаго, есть только кажущееся. Оно происходитъ вслѣдствіе обращенія земли около оси.

солнца въ западной части горизонта какую-нибудь звѣзду, то по прошествіи нѣкотораго промежутка времени она уже не будетъ видима, ея свѣтъ затмѣвается яркими лучами приблизившагося солнца, затѣмъ чрезъ нѣкоторое время та же звѣзда будетъ появляться утромъ до восхода солнца на восточной части горизонта.

Изъ этого заключаемъ, что солнце перемѣстилось по небу отъ запада къ востоку.

Перемѣщеніе это происходитъ ежедневно, и солнце совершаетъ полный оборотъ въ 360° въ теченіе года.

Итакъ, склоненіе солнца въ различныя времена года различны; соотвѣтственно величинѣ и знаку этихъ склоненій, солнце иногда бываетъ на экваторѣ, а иногда удаляется на одно изъ полушарій - сѣверное или южное.

Вмѣстѣ со склоненіемъ солнца измѣняются и его прямыя восхожденія. Въ этомъ легко убѣдиться, сравнивая время прохожденія солнца чрезъ меридіанъ со временемъ прохожденія черезъ меридіанъ въ полночь нѣкоторой звѣзды; мы замѣтимъ, что промежутокъ времени между этими моментами не остается постояннымъ, а измѣняется въ извѣстномъ порядкѣ и по извѣстному закону.

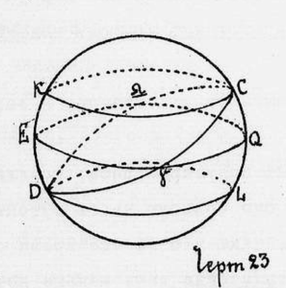
Чтобы опредѣлить путь, совершаемый солнцемъ, будемъ наблюдать ежедневно его склоненія и сравнивать время прохожденія чрезъ меридіанъ со временемъ прохожденія извѣстной звѣзды. Соотвѣтственно этимъ наблюденіямъ на небесномъ глобусѣ будемъ отмѣчать ежедневное положеніе солнца. Такимъ образомъ у насъ въ теченіе года составится рядъ точекъ; соединяющая эти точки кривая

будетъ сомкнутая и представитъ намъ путь, по которому движется солнце. Плоскость кривой наклонена къ плоскости экватора подъ угломъ въ 23½° (собственно 23°28'). Древніе назвали эту кривую эклиптикой. Экваторъ пересѣкаетъ ее въ двухъ точкахъ (черт.23 ; D♎C♈ - эклиптика).

Прослѣдимъ же теперь годовое движеніе солнца по эклиптикѣ.

Въ началѣ весны, именно 8-го марта, солнце находится на экваторѣ въ точкѣ ♈ (пересѣченіе экватора и эклиптики). Эта точка называется точкой весенняго равноденствія. Въ тотъ день солнце описываетъ половину своего суточнаго пути надъ горизонтомъ и половину подъ горизонтомъ, т.е. день равенъ ночи.

Затѣмъ склоненіе солнца дѣлается сѣвернымъ и постепенно увеличивается, пока не дойдетъ до нѣкотораго предѣла, во время котораго солнце находится въ ♋ точкѣ лѣтняго солнцестоянія.



Черт 23

Это бываетъ 8-го іюня, когда солнце описываетъ своимъ суточнымъ движеніемъ кругъ параллельный экватору и отстоящій отъ него на 23½°, называемый поворотнымъ кругомъ или тропикомъ Рака.

Изъ точки ♋ солнце снова поворачиваетъ по направленію къ экватору, куда и приходитъ въ точкѣ ♎ 9 го Сентября, когда день снова равенъ ночи. ♎ - это точка

осенняго равноденствія.

Съ 8-го марта и до 9-го сентября солнце находится въ сѣверномъ полушаріи. Большую часть своего суточнаго пути оно совершаетъ для жителей сѣвернаго полушарія надъ горизонтомъ и меньшую подъ горизонтомъ, такъ что во весь промежутокъ времени съ 8-го марта до 9-го сентября день бываетъ всегда больше ночи.

Когда солнце вторично прошло чрезъ экваторъ, его склоненіе становится южнымъ; оно переходитъ въ южное полушаріе и доходитъ до точки D - зимняго солнцестоянія, что бываетъ 8-го декабря.

Въ этотъ день оно описываетъ, также, какъ и во время своего пребыванія въ точкѣ лѣтняго солнцестоянія, кругъ DL, отстоящій отъ EQ на 23° 30′ и параллельный ему, называемый поворотнымъ кругомъ или тропикомъ Козерога.

Затѣмъ солнце поворачиваетъ къ экватору и возвращается въ точку ♈.

Когда солнце въ южномъ полушаріи неба, то для сѣвернаго полушарія земли оно большую часть сутокъ остается подъ горизонтомъ, такъ что во все время отъ 9-го сентября до 8-го марта всегда день меньше ночи.

Изъ всего вышесказаннаго мы видимъ, что эпилиптика имѣетъ четыре характерныхъ точки: двѣ точки равноденствій-осенняго и весенняго и двѣ точки солнцестояній лѣтняго и зимняго x)

---

x) Точки ♈ и ♎ пересѣченія эклиптики съ экваторомъ названы точками равноденствій, потому что, когда солнце находится въ нихъ, то суточнымъ движеніемъ описываетъ дугу экватора

Въ первыхъ двухъ солнце находится во время своего прохожденія чрезъ экваторъ, а въ другихъ двухъ во время наибольшаго удаленія отъ него.

Звѣзды, которыя расположены вдоль эклиптики, уже съ древнѣйшихъ временъ были раздѣлены на двѣнадцать созвѣздій, которыя образуютъ такъ называемый зодіакъ. Созвѣздія эти и ихъ обозначенія слѣдующія.

Въ сѣверномъ полушаріи: Овенъ ♈, Телецъ ♉, Близнецы ♊, Ракъ ♋, Левъ ♌, Дѣва ♍

Въ южномъ полушаріи: Вѣсы ♎, Скорпіонъ ♏, Стрѣлецъ ♐, Козерогъ ♑, Водолей ♒, Рыбы ♓.

Точныя наблюденія показываютъ, что видимый діаметръ солнца, т.е. уголъ, подъ которымъ намъ представляется солнечный дискъ, не совсѣмъ постояненъ и что, слѣдовательно, разстояніе солнца отъ насъ нѣсколько измѣняется. Наибольшій видимый діаметръ солнца бываетъ зимою 19-го декабря (32′36″), а наименьшій лѣтомъ 19-го іюня (31′32″). Слѣдовательно, 19-го декабря солнце находится всего ближе къ намъ, а 19-го іюня, т.е. ровно черезъ полгода, всего дальше.

Ближайшая къ землѣ точка годового пути или орбиты солнца называется перигеемъ, а наиболѣе отдаленная апогеемъ солнца. Кромѣ того, наблюденія показываютъ, что солнце движется по своей орбитѣ не совсѣмъ равномѣрно. Оно движется всего быстрѣе въ перигеѣ, а всего медленнѣе въ апогеѣ.

и потому для всѣхъ мѣстъ земной поверхности день равенъ ночи. Точки C и D названы точками солнцестояній, потому что когда солнце находится около нихъ, склоненіе его измѣняется очень мало. Въ самомъ дѣлѣ, направленіе касательныхъ

Время, проходящее между двумя послѣдовательными прохожденіями солнца чрезъ одну и ту же точку солнцестоянія или равноденствія называется тропическимъ годомъ. Онъ раздѣляется на четыре времени года. Различіе временъ года происходитъ отъ измѣненій склоненій солнца, чѣмъ обусловливается и измѣненіе его меридіональныхъ высотъ, а также продолжительности дней и ночей, температуры и количества лучей теплоты, которое бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ направленіе лучей солнца, падающихъ на горизонтъ данной мѣстности, ближе къ вертикальному.

Весна начинается съ того времени, когда солнце вступаетъ въ точку весенняго равноденствія (8-го марта) и продолжается до перемѣщенія его въ точку лѣтняго солнцестоянія (8-го іюня).

Со вступленіемъ солнца въ точку лѣтняго солнцестоянія начинается лѣто и продолжается до тѣхъ поръ, пока солнце не достигнетъ точки осенняго равноденствія (9-го сентября).

Съ 9-го сентября до того времени, когда солнце передвинется въ точку зимняго солнцестоянія (8-го декабря), продолжается осень.

Время, въ которое солнце переходитъ изъ точки зимняго солнцестоянія въ точку весенняго равноденствія, составляетъ зиму.

Въ заключеніе докажемъ, что путь, по которому совершается движеніе солнца, т.е. эклиптика - есть кривая

къ эклиптикѣ въ этихъ точкахъ параллельно плоскости экватора, стало быть и направленіе дугъ будетъ почти параллельно ей и потому солнце въ этихъ точкахъ своего пути движется почти параллельно экватору, т.е. его склоненіе въ теченіе нѣкотораго промежутка времени, почти совсѣмъ не измѣняется.

плоская.

Наблюденія показали, что разстояніе между двумя звѣздами, проходящими въ полночь черезъ меридіанъ во время весенняго и осенняго равноденствій = 180^{o}, т.е. обѣ точки лежатъ на одномъ и томъ-же діаметрѣ.

Далѣе, если замѣтимъ меридіальныя высоты солнца во время зимняго и лѣтняго солнцестояній, то увидимъ, что наибольшее сѣверное склоненіе равно наибольшему южному.

Отсюда видно, что точки солнцестояній тоже находятся на одномъ и томъ же діаметрѣ.

Итакъ, точки равноденствій отстоятъ другъ отъ друга на 180^{o}, точки солнцестояній тоже на 180^{o}, а изъ наблюденій выводится, что и каждая точка солнцестоянія отстоитъ отъ каждой точки равноденствія на 90^{o}. Все это показываетъ, что эклиптика находится въ одной плоскости.

5. ЛУНА, ЕЯ ФАЗЫ.

По своей формѣ, величинѣ и другимъ особенностямъ луна рѣзко отличается отъ всѣхъ свѣтилъ. По своей видимой величинѣ она болѣе всего напоминаетъ солнце; но между тѣмъ какъ солнце остается всегда свѣтлымъ, неизмѣнно и ярко блестящимъ дискомъ, луна не представляетъ намъ постоянныхъ формъ, а непрерывно измѣняетъ свой видъ.

Иногда мы совершенно не видимъ ея на небѣ, другой разъ является она намъ въ видѣ болѣе или менѣе тонкаго серпа, обращеннаго выпуклостью то въ ту, то въ другую сторону, то принимаетъ форму полукруга и, наконецъ, по временамъ превращается въ полный кругъ, блестящій ров-

СПБ. УНИВЕРСИТЕТЪ. ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. СТ. Б. ГРЕБЕЦКАЯ, № 9 - 6 СПБ.

нымъ, спокойнымъ свѣтомъ, который несравненно слабѣе свѣта солнца.

Подобныя превращенія луны называются фазами ея.

Перемѣны луны или ея фазы сравнителбно быстро слѣдуютъ одна за другою и не могутъ не обратить на себя вниманія даже поверхностнаго наблюдателя; и на самомъ дѣлѣ, мы знаемъ, что уже въ глубокой древности луна своими превращеніями интересовала изслѣдователей явленій природы, и какъ важны для людей измѣненія лунныхъ формъ, можно видѣть хотя бы изъ того, что самый счетъ времени въ древности приноравливался и теперь у нѣкоторыхъ народовъ приноравливается къ періодамъ лунныхъ фазъ.

Что луна измѣняетъ свои формы періодически, въ этомъ можно убѣдиться непосредственнымъ наблюденіемъ; сейчасъ мы покажемъ, въ какомъ порядкѣ слѣдуютъ эти перемѣны, а прежде скажемъ нѣсколько словъ объ относительномъ положеніи луны, земли и солнца.

При внимательномъ наблюденіи видимаго движенія луны оказывается, что луна движется далеко быстрѣе солнца и потому относительныя положенія луны, солнца и земли могутъ быть различны.

Вообразимъ себѣ, что луна и солнце лежатъ по одну сторону земли, т.е. что ихъ долготы одинаковы. Подобное положеніе луны и солнца называется соединеніемъ ихъ.

Наоборотъ, когда земля оказывается между луною и солнцемъ, т.е. когда долготы солнца и луны различаются

на 180°, то говорятъ, что, солнце и луна находятся въ противостояніи.

Соединеніе и противостояніе называются сизигіями луны.

Промежуточныя положенія (когда разность долготъ солнца и луны = 90°) называются квадратурами.

Начнемъ теперь наблюденіе надъ луной съ того времени, когда луна не видна на небесномъ сводѣ. Въ это время луна, какъ говорятъ, находится въ новолуніи.

Но черезъ нѣсколько дней къ востоку отъ солнца по вечерамъ наблюдатель замѣтитъ тонкій свѣтлый серпъ, выпуклостью обращенный къ солнцу, т.е. вправо для нашего полушарія. (черт. 24). Этотъ серпъ не долго остается на небѣ: онъ заходитъ скоро послѣ заката солнца.

Черт.24.

Со временемъ онъ увеличивается, т.е. расширяется, сохраняя внѣшнюю кривую постоянною, и вмѣстѣ съ тѣмъ удаляется все болѣе и болѣе къ востоку отъ солнца; наконецъ, черезъ 7 дней послѣ новолунія луна принимаетъ форму полукруга (черт.25).

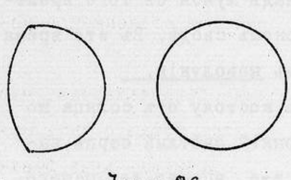
Эта фаза луны называется первою четвертью. Опредѣляя въ это время положеніе луны относительно солнца, мы замѣтимъ, что лучи зрѣнія, идущіе къ солнцу и лунѣ, составляютъ между собою уголъ въ 90°; уголъ этотъ, какъ извѣстно, измѣряется дугою = ¼ окружности; потому-то подобное поло-

Черт.25.

женіе луны и называется квадратурою.

Въ это время луна кульминируетъ въ 6 час. вечера.

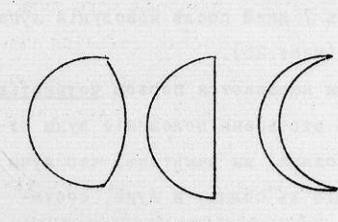
Проходитъ день-два; мы замѣчаемъ, что луна продолжаетъ измѣнять свою форму; она все увеличивается и наконецъ черезъ 6 или 7 дней послѣ I-й четверти мы увидимъ полный свѣтлый дискъ и говоримъ, что луна находится въ полнолуніи. Въ это время луна кульминируетъ въ полночь, потому что отстоитъ отъ солнца на 180^{o}, т.е. находится въ противостояніи съ солнцемъ.



Черт. 26

При дальнѣйшемъ измѣненіи исчезаетъ правый край луны и, уменьшаясь постепенно, черезъ семь дней луна снова принимаетъ форму полукруга, но выпуклой стороною обращеннаго уже влѣво для нашего полушарія.

Эта фаза луны назвается послѣднею четвертью или квадратурой; разность долготъ солнца и луны въ это время = 270^{o}. Съ этихъ поръ мы можемъ видѣть луну только по утрамъ - вечеромъ она находится подъ горизонтомъ. Кульминація ея въ это время бываетъ въ 6 час.



Черт. 27

утра.

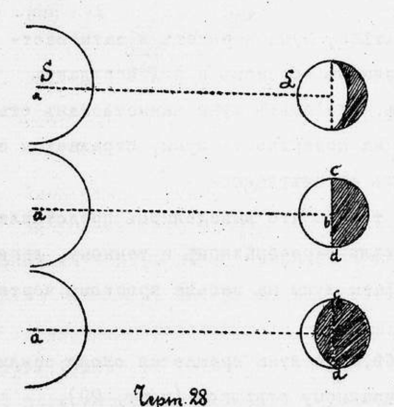
При дальнѣйшемъ измѣненіи луна снова принимаетъ форму серпа и наконецъ совсѣмъ исчезаетъ; - тогда снова наступаетъ новолуніе.

Послѣ этого фазы луны повторяются въ томъ же порядкѣ, какъ сначала. Промежутокъ между двумя новолуніями называютъ луннымъ или синодическимъ мѣсяцемъ.

Посмотримъ теперь, какимъ образомъ объясняется подобное измѣненіе лунныхъ формъ.

Выше было уже упомянуто о томъ обстоятельствѣ, что при всѣхъ своихъ измѣненіяхъ луна бываетъ обращена выпуклостью своей къ солнцу.

Другое наблюденіе, основанное на измѣненіяхъ, показываетъ намъ, что линія, соединяющая рога луны, всегда остается перпендикулярной къ линіи, соединяющей центры луны и солнца (черт. 28; $ab \perp cd$).



Черт. 28

Все это наводитъ насъ на мысль, что луна есть тѣло шарообразное, при томъ собственнаго свѣта не имѣющее, а заимствующее свѣтъ отъ солнца.

Это послѣднее какъ нельзя лучше подтверждается

особымъ явленіемъ, которое называется <u>затменіемъ луны.</u>

Земля есть тѣло темное и непрозрачное для лучей, солнца и потому, когда солнечные лучи падаютъ на землю, то по другую сторону земли будетъ лежать пространство, неосвѣщенное лучами солнца - здѣсь будетъ имѣть мѣсто конусъ тѣни, отбрасываемой землею. Вершина этого конуса заходитъ за предѣлы разстоянія земли отъ луны.

При движеніи своемъ луна попадаетъ иногда въ этотъ конусъ; это можетъ случиться только во время полнолунія, т.е. когда луна находится по ту-же сторону отъ земли, гдѣ тѣнь.

Попавъ разъ въ тѣнь, луна меркнетъ и затмевается, что самымъ нагляднымъ образомъ и подтверждаетъ предположеніе о томъ, что свѣтъ луны заимствованъ отъ солнца - онъ, падая на поверхность луны, отражается ею и тѣмъ самымъ дѣлаетъ ее свѣтящеюся.

Основываясь на только что выведенномъ представленіи о лунѣ, какъ о тѣлѣ шарообразномъ и темномъ, легко можно пояснить всѣ фазы луны на весьма простомъ чертежѣ.

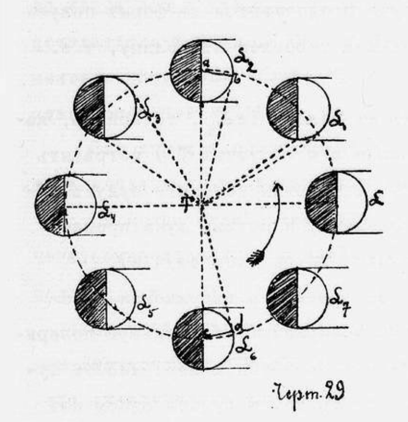
Представимъ себѣ, что луна вращается около земли по направленію, показанному стрѣлкою (черт. 29).

Въ точкѣ T находится наблюдатель (чтобы не усложнять чертежа, мы не изображаемъ земли, а беремъ вмѣсто нея точку T).

Лучи солнца по отдаленности этого свѣтила отъ земли и луны можно разсматривать параллельными.

Тогда освѣщенная часть лунной поверхности опредѣ-

лится линіей сѣченія поверхности луны съ плоскостью, проходящей черезъ центръ луны и перпендикулярной къ направленію солнечныхъ лучей.


Черт. 29

Когда луна находится между солнцемъ и землею (въ положеніи $\mathcal{L}$), то къ наблюдателю она будетъ обращена своей неосвѣщенной стороною, что видно изъ чертежа, и потому луны не будетъ видно - будетъ новолуніе.

Черезъ семь дней луна придетъ въ положеніе $\mathcal{L}_2$,т.е. линія, соединяющая ея центръ съ T , образуетъ съ линіей, соединяющей центръ солнца съ T , уголъ въ 90^0 .

Конусъ, касательный къ поверхности луны, вершина котораго будетъ въ точкѣ T , встрѣтитъ освѣщенную часть лунной поверхности по полукругу, изображаемому на чертежѣ линіей ab . Этотъ полукругъ будетъ одною изъ границъ видимой части луны. Другой границей ея будетъ служить полукругъ, отдѣляющій освѣщенную половину луны отъ неосвѣщенной, и въ перспективѣ являющійся для наблюдателя въ формѣ прямой линіи, потому что, по предположенію, луна занимаетъ такое положеніе, что плоскость, отдѣляющая освѣщен-

ную часть луны отъ неосвѣщенной, проходитъ вмѣстѣ и черезъ точку

Такимъ образомъ, луна представится въ формѣ полукруга, обращеннаго выпуклой стороною къ солнцу, т.е. вправо (I-я четверть).

Когда луна придетъ въ положенiе $\mathcal{L}_4$, то конусъ, касательный къ лунѣ (вершина его въ точкѣ T) встрѣтитъ ея поверхность по кругу, всѣ точки котораго будутъ лежать въ освѣщенной части луны, и потому луна представится намъ въ формѣ полнаго круга (полнолунiе).

Пусть луна прошла еще четверть окружности и заняла положенiе $\mathcal{L}_6$. Снова вообразимъ касательную поверхность конуса. Она встрѣтитъ освѣщенную поверхность луны по кругу радiуса cd; этотъ кругъ будетъ одною изъ границъ видимой части луны; другую границу опредѣлитъ, какъ и въ первый разъ кругъ, отдѣляющiй неосвѣщенную часть поверхности отъ освѣщенной и являющiйся намъ вслѣдствiе перспективы прямой линiей. Такимъ образомъ и здѣсь луна представится намъ въ формѣ полукруга, только обращеннаго выпуклою стороной уже влѣво. Это будетъ послѣдняя четверть.

Во всѣхъ промежуточныхъ положенiяхъ луна будетъ имѣть и формы промежуточныя, между новолунiемъ и первою четвертью: она будетъ являться въ видѣ серпа; то-же самое будетъ и въ промежуткѣ между последнею четвертью и новолунiемъ; между первой и послѣдней четвертями съ одной стороны и полнолунiемъ съ другой луна будетъ имѣть видъ неполнаго круга.

Въ нашихъ широтахъ луна долго остается невидимой во время новолунiя; исчезаетъ она приблизительно за два дня до новолунiя и уже спустя два дня послѣ новолунiя снова появляется на небѣ. У насъ даже съ помощью лучшихъ инструментовъ нѣтъ возможности видѣть луну спустя нѣсколько часовъ послѣ новолунiя.

Это явленiе объясняется тѣмъ, что въ нашихъ широтахъ воздухъ не представляетъ особенной прозрачности.

Въ болѣе южныхъ широтахъ, гдѣ воздухъ болѣе прозраченъ, бываетъ возможно видѣть луну даже около самаго солнца, т.е. почти во время новолунiя.

Въ странахъ магометанскихъ, гдѣ луна пользуется большимъ почетомъ и играетъ важную роль въ религiи и обрядахъ, существуетъ обычай высылать за городъ людей, обладающихъ болѣе острымъ зрѣнiемъ; они должны наблюдать зарожденiе луны и о зарожденiи ея извѣщать правовѣрныхъ.

Во время первой и послѣдней четвертей наблюдается еще одно очень характерное явленiе - это пепельный свѣтъ луны.

Въ то время, какъ одна (меньшая) часть видимой поверхности луны блеститъ яркимъ отраженнымъ солнечнымъ свѣтомъ, другая (большая) бываетъ слабо освѣщена, но характерно выдѣляется на фонѣ темнаго неба.

Представимъ себѣ лунный дискъ послѣ новолунiя.

Между тѣмъ какъ луна въ это время представляется намъ въ видѣ тонкаго, блестящаго серпа,

съ луны въ то же время поверхность земли кажется почти совершенно освѣщенной, земля для луны въ это время будетъ близка къ полнолунію, если можно такъ выразиться.

И, какъ луна во время полнолунія освѣщаетъ земную поверхность, такъ земля должна въ нашемъ случаѣ, освѣщать поверхность луны, только еще съ большею силою, потому что вслѣдствіе большихъ размѣровъ земли въ сравненіи съ луною, и сила свѣта первой должна много превосходить силу луннаго свѣта.

Вотъ этотъ-то отраженный отъ земной поверхности свѣтъ и освѣщаетъ луну передъ новолуніемъ и послѣ него.

Первый далъ такое объясненіе пепельнаго свѣта луны знаменитый Леонардо-да-Винчи.

6. СОЛНЕЧНЫЯ И ЛУННЫЯ ЗАТМЕНІЯ.

Земля и луна суть темныя тѣла, освѣщаемыя солнцемъ; поэтому онѣ отрабываютъ отъ себя въ сторону, противоположную солнцу, тѣнь, имѣющую форму конуса, потому что солнце, сравнительно со сферами луны и земли, представляетъ шаръ громадныхъ размѣровъ.

Для опредѣленія направленія и величины этихъ конусовъ тѣни, проводятъ касательныя плоскости къ землѣ и солнцу въ одномъ случаѣ и къ солнцу и лунѣ - въ другомъ.

Описывая свои пути на небесной сферѣ, иногда всѣ упомянутыя тѣла приходятъ въ такое положеніе относительно другъ друга, что центры ихъ располагаются на

одной прямой.

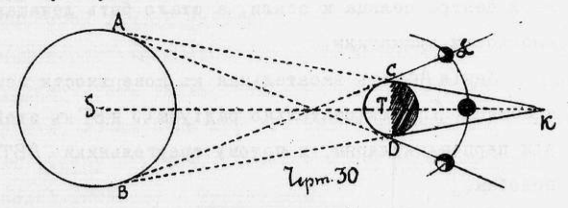
Тогда можетъ произойти то, что или луна попадетъ въ конусъ тѣни, отбрасываемой землею, и исчезаетъ изъ глазъ наблюдателей, находящихся на томъ полушаріи земли, которое обращено къ лунѣ, или же земля войдетъ въ конусъ тѣни луны, который закроетъ для жителей полушарія, обращеннаго къ солнцу, или весь дискъ солнца, или же его часть.

Въ первомъ случаѣ произойдетъ лунное затменіе, во второмъ - солнечное.

Къ разбору этихъ явленій мы теперь и приступимъ.

I) Пусть S, T и $\mathcal{L}$, соотвѣтственно обозначаютъ солнце, землю и луну (черт. 30.).

Лучи, идущіе отъ крайнихъ точекъ солнечнаго диска (A и B) и касательные къ поверхности земли, ограничиваютъ собою пространство CKD.



Черт. 30

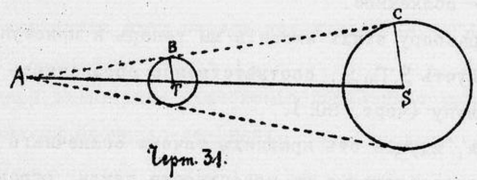
куда не проникаетъ ни одинъ солнечный лучъ.

Это - такъ называемый конусъ расходящійся, вершина котораго лежитъ между центрами земли и солнца, въ O; въ это пространство нѣкоторые солнечные лучи, какъ легко видѣть изъ чертежа, могутъ проникнуть, и потому-то оно и названо конусомъ полутѣни.

Луна при своемъ движенiи по орбитѣ будетъ проходить какъ черезъ конусъ полной тѣни, такъ и черезъ конусъ полутѣни.

Для полнѣйшаго удостовѣренiя въ томъ, что луна непремѣнно должна погрузиться въ пространство, занимаемое тѣнью земли, покажемъ, что длина конуса полной тѣни значительно больше разстоянiя луны отъ земли.

Пусть въ S (черт.31) находится солнце, въ T -земля



Черт. 31.

A есть вершина конуса тѣни, лежащая на линiи соединяющей центры солнца и земли, а стало быть лежащая въ плоскости эклиптики.

Линiя AC есть касательная къ поверхности земли T и солнца S; слѣдовательно радiусы CS и BT къ этой линiи перпендикулярны, и потому треугольники ABT и ACS подобны.

Изъ подобiя этихъ треугольниковъ слѣдуетъ:

$$AS:AT = CS:BT \quad \text{или} \quad \frac{AS-AT}{AT} = \frac{CS-BT}{BT}$$

то-есть:

$$ST:AT = (CS-BT):BT$$

откуда:

$$AT = \frac{ST \cdot BT}{CS-BT}$$

но наблюденiя показали, что радiусъ солнца $CS = 112$ земныхъ радiусовъ, т.е. $CS = 112\,BT$, а разстоянiе земли отъ солнца равняется 24000 земн. радiусовъ, т.е. $ST = 24000\,BT$ а потому:

$$AT = \frac{24000\,BT^2}{111\,BT} = \text{средн. числомъ } 216\,BT$$

Между тѣмъ разстоянiе земли отъ луны равно только $64\frac{1}{4}$ земныхъ радiусовъ.

Стало быть конусъ земной тѣни далеко простирается за орбиту луны.

Когда луна при своемъ обращенiи около земли вполнѣ входитъ въ пространство ея полной тѣни, то затменiе бываетъ полное, если же въ конусъ тѣни погружена только часть луннаго диска, а другая часть остается въ конусѣ полутѣни, то затменiе называется частнымъ.

Плоскость лунной орбиты наклонена къ плоскости эклиптики подъ угломъ въ $5^{\circ}9'$ и пересѣкаетъ и по прямой линiи, называемой линiей узловъ.

Точки пересѣченiя этой линiи съ небесною сферой называются узлами. Тотъ узелъ, гдѣ луна переходитъ изъ части своей орбиты, лежащей къ югу отъ эклиптики, въ ту,которая лежитъ къ сѣверу отъ нея, называется восходящимъ узломъ, а противоположный ему - нисходящимъ.

Очевидно, что во время противостоянiя лунное затменiе можетъ произойти только тогда, когда луна находится вблизи узла. Если она находится въ самомъ узлѣ, то вполнѣ погружается въ конусъ тѣни, и происходитъ полное лунное затменiе. Когда луна находится выше или ниже узла,то происходитъ или частное затменiе, или же вовсе затменiя

не происходитъ; - луна будетъ проходить выше или ниже конуса тѣни и не будетъ лежать въ плоскости эклиптики.

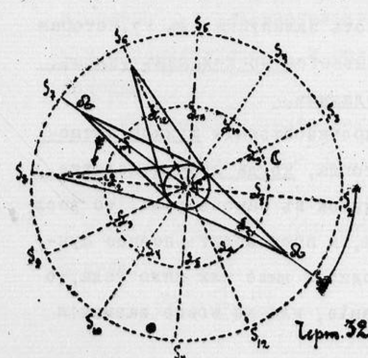
Вычислено, что, если во время полнолунія луна отстоитъ отъ узла болѣе, чѣмъ на $13^\circ 20'$, то никакого затменія произойти не можетъ.

Постараемся опредѣлить, сколько лунныхъ затменій можетъ произойти въ теченіе года.

Оборотъ луны относительно солнца, т.е. время, протекшее между двумя одинаковыми фазами, какъ извѣстно, составляетъ ея синодическій мѣсяцъ, равный 29,530589 среднихъ сутокъ.

Нетрудно сообразить, что число полнолуній въ Юліанскомъ году, продолжительность котораго = 365,25 средн. сутокъ, найдется, если мы 365,25 раздѣлимъ на 29,530589; въ частномъ получается 12 полныхъ лунныхъ мѣсяцевъ и 10,8952 - почти 11 сутокъ. Отбросимъ эти 11 сутокъ для приблизительнаго вычисленія.

Положимъ, что въ центрѣ T находится земля (черт. 32); вокругъ нея совершается движеніе луны ☾ и солнца ⊙. Пусть ☊ будетъ линія узловъ, т.е. линія пересѣченія плоскости эклиптики съ плоскостью лунной орбиты. Положимъ, что линія узловъ остается въ пространствѣ неподвижною.


Черт. 32

Если въ началѣ года солнце находится на

линіи узловъ въ точкѣ S_1, то конусъ тѣни, отбрасываемой землею T, совпадаетъ съ линіей узловъ.

Если случится, что луна въ это время будетъ находиться въ полнолуніи, то, очевидно, произойдетъ затменіе. Въ теченіе мѣсяца солнце перемѣстится на $\frac{360^\circ}{12} = 30^\circ$ и займетъ положеніе точки S_2. Въ этомъ случаѣ во время полнолунія луна уже выйдетъ изъ плоскости эклиптики: она будетъ ниже плоскости чертежа и потому не попадетъ въ конусъ тѣни, такъ что затменія не будетъ. Во время каждаго слѣдующаго полнолунія произойдетъ то же явленіе, пока солнце не придетъ, наконецъ, въ S_7. Въ этомъ случаѣ конусъ тѣни опять упадетъ на луну во время ея полнолунія, потому что она въ это время будетъ находится въ другомъ узлѣ, въ ☊$_1$.

Послѣдующія полнолунія будутъ происходить безъ затменій, пока солнце снова не придетъ въ S_1.

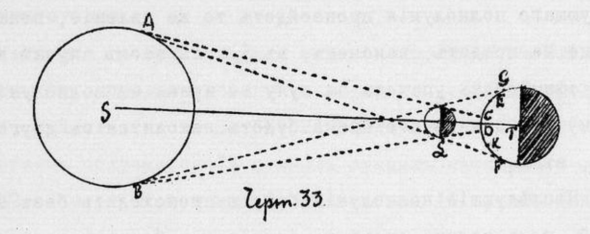
Такимъ образомъ въ теченіе года должно было бы въ идеальномъ случаѣ происходить два полныхъ лунныхъ затменія; но это не всегда оправдывается.

Въ самомъ дѣлѣ, мы брали здѣсь цѣлое число синодическихъ оборотовъ въ году, отбрасывая дробныя числа, и кромѣ того предполагали, что линія узловъ остается неподвижною, что на самомъ дѣлѣ невѣрно. Вслѣдствіе всѣхъ этихъ обстоятельствъ можетъ произойти то, что въ моментъ предполагаемаго затменія луна окажется внѣ конуса тѣни: будетъ выше, или ниже его.

2. Солнечное затменіе можетъ произойти тогда, когда луна, при движеніи своемъ, займетъ мѣсто междусолнцемъ

и землею и закроетъ отъ насъ или цѣлый солнечный дискъ, или часть его. Положимъ, что S, T и Ꙅ (черт.33) обозначаютъ такое относительное положеніе солнца, земли и луны, при которомъ центры этихъ тѣлъ находятся на одной прямой.

Въ означенномъ положеніи всѣ три тѣла находятся во время соединенія, такъ что можно бы было положить, что во время новолунія всегда происходитъ и затменіе солнца.



Черт.33

Но въ дѣйствительности, какъ мы выше уже упоминали, плоскость эклиптики не совпадаетъ съ плоскостью лунной орбиты; поэтому во время соединенія луна можетъ находиться иногда въ направленіи, по которому мы видимъ солнце, иногда въ другомъ направленіи, и только въ первомъ случаѣ можетъ произойти солнечное затменіе: это бываетъ, когда луна находится или въ какомъ-нибудь узлѣ своей орбиты, или вблизи его.

Положимъ, что происходитъ солнечное затменіе.

Проведемъ касательныя къ поверхностимъ солнца и луны; онѣ отдѣлятъ на земномъ шарѣ нѣкоторую часть поверхности, до которой не дойдетъ ни одного солнечнаго

луча. Для мѣстъ, расположенныхъ на этой поверхности произойдетъ полное солнечное затменіе.

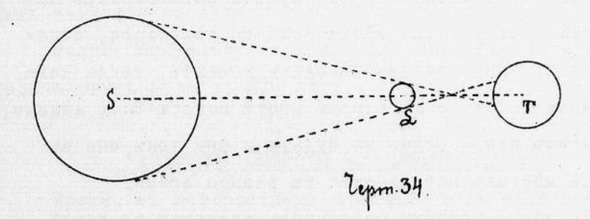
Полное затменіе происходитъ въ томъ случаѣ, когда разстояніе луны отъ земли такъ мало, что видимый діаметръ ея болѣе видимаго діаметра солнца x).

Если же видимый діаметръ луны менѣе видимаго діаметра солнца, то луна закрываетъ собою только среднюю часть солнечнаго диска, а по краямъ его остается свѣтлое кольцо.

Такое затменіе называется <u>кольцеобразнымъ</u>.

Оно происходитъ тогда, когда разстояніе луны до земли такъ велико, что конусъ лунной тѣни находится между лунной и землею (черт.34).

Полное и кольцеобразное затменіе начинаются и кончаются частными.



Черт.34

Дѣйствительно, если мы проведемъ касательныя BG и AF (черт.33), то для наблюдателей находящихся въ точкахъ G и F затменіе вовсе не будетъ имѣть мѣсто, тогда какъ для точекъ, напр. E и K, будетъ происходить частное затменіе.

Тоже самое должно сказать и о случаѣ кольцеобразна-

x) Разстояніе это не остается постояннымъ, а измѣняется между 56 и 64 земн.рад.

го затменія (черт.34).

Солнечное затменіе вообще можетъ произойти только тогда, когда разстояніе луны отъ узла не болѣе $19^{\circ}44'$.

Отличіе луннаго затменія отъ солнечнаго заключается въ слѣдующемъ: луна, будучи темнымъ тѣломъ, получающимъ свѣтъ свой отъ солнца, постепенно вступая въ пространство тѣневого конуса отъ земли, теряетъ свой свѣтъ въ извѣстный физическій моментъ, такъ что явленіе наблюдается одновременно со всѣхъ мѣстъ земного шара; при солнечномъ же затменіи этого не бываетъ, потому что солнце нисколько не теряетъ своего свѣта; оно только исчезаетъ отъ наблюдателя, скрываясь за темное тѣло - луну.

Изъ этого слѣдуетъ, что лунное затменіе всѣ наблюдатели изъ разныхъ мѣстъ земного полушарія, обращеннаго къ лунѣ, видятъ въ одинъ моментъ, тогда какъ солнечное затменіе въ одномъ мѣстѣ можетъ быть видимо, въ другомъ его совсѣмъ не будетъ и при томъ оно въ разныхъ мѣстахъ наблюдается въ разное время.

Во время полныхъ солнечныхъ затменій по землѣ распространяется темнота; на небѣ, принимающемъ сѣровато-зеленый цвѣтъ, появляются нѣсколько яркихъ звѣздъ; температура понижается на нѣсколько градусовъ; въ растительномъ царствѣ наблюдаются явленія подобныя тѣмъ, которыя имѣютъ мѣсто при наступленіи ночи.

Полныя солнечныя затменія продолжаются короткое время - отъ I до 6 минутъ.

Относительно числа солнечныхъ и лунныхъ затменій

замѣтимъ, что въ періодъ I8 лѣтъ II сутокъ, т.е. почти 6585 сутокъ, называемый саросомъ, происходитъ всего 70 затменій: 29 лунныхъ и 4I солнечныхъ. По истеченіи одного сароса затменія должны повторяться въ томъ же порядкѣ, как за I8 лѣтъ II сутокъ прежде.

Періодъ, называемый саросомъ, служилъ древнимъ астрономамъ для опредѣленія времени затменія и предсказанія его; ниже мы скажемъ о немъ подробнѣе.

Солнечныя затменія, вообще говоря, должны повторяться чаще лунныхъ; но для каждаго мѣста даннаго на земной поверхности лунныхъ затменій должно быть гораздо больше солнечныхъ. Это вытекаетъ изъ предыдущаго изложенія.

Въ данномъ мѣстѣ можетъ быть одно солнечное затменіе въ 2 года, а лунныхъ, какъ мы видѣли раньше, можетъ быть даже два въ одинъ годъ.

Полное солнечное затменіе для даннаго мѣста бываетъ только одинъ разъ въ 200 лѣтъ.

7. РАЗЛИЧНЫЕ ОБОРОТЫ ИЛИ МѢСЯЦЫ ЛУНЫ.

Время, въ которое луна описываетъ на небесной сферѣ около земли полный кругъ и приходитъ прежнее положеніе относительно звѣздъ, т.е. становится видима противъ тѣхъ самыхъ звѣздъ, какъ и прежде, называется ея звѣзднымъ или сидерическимъ мѣсяцемъ или оборотомъ.

Этотъ оборотъ совершается въ 27 сутокъ 7 часовъ 43 минуты и II½ секундъ.

Время, въ которое луна возвращается въ прежнее угловое положеніе относительно солнца, иначе промежутокъ

времени между двумя одинаковыми фазами луны, напр. новолуніями или полнолуніями, какъ мы уже упомянули раньше, составляетъ лунный или синодическій мѣсяцъ луны.

Продолжительность синодическаго мѣсяца не постоянна; это происходитъ вслѣдствіе неравенствъ въ движеніи какъ самой луны, такъ, особенно, въ видимомъ движеніи солнца. Величина синодическаго мѣсяца измѣняется отъ 29 сут. 17 час. до 29 сут.7 час.; средняя длина есть та, которая найдена въ томъ предположеніи, что луна и земля двигаются равномѣрно.

Изъ различныхъ наблюденій средняя продолжительность синодическаго оборота опредѣлена чрезвычайно точно; она равняется 29,530588531167 среднихъ сутокъ или 29 сут. 12 час. 44 мин. 2 сек., 849784.

Въ тропическомъ году (см. гл. 4), равномъ 365,2422 средн. сутокъ заключается 12 среднихъ лунныхъ мѣсяцевъ и 10,8952, или почти 11 сутокъ.

Отношеніе Юліанскаго года, равнаго 365,25 среднихъ сутокъ, къ среднему синодическому мѣсяцу, т.е.

$$\frac{365,25}{29,530588531167}$$

можетъ быть выражено въ видѣ непрерывной дроби. Если ограничимся ближайшей подходящей дробью, то увидимъ, что въ 19-ти юліанскихъ годахъ должно содержаться 235 средн. синодическихъ мѣсяцевъ; повѣримъ это:

365 с,25 × 19 = 6939 сут.18 час.;

29 с.,530589 × 235 = 6939 сут.16½ час. (разница самая незначительная сравнительно съ числомъ сутокъ;

всего 1½ часа).

Значитъ, черезъ 19 лѣтъ каждая фаза луны должна происходить какъ разъ въ тѣ самые дни, въ которые она происходила за 19 лѣтъ прежде.

Такой періодъ называется кругомъ или цикломъ луны. Кругъ луны былъ извѣстенъ въ глубокой древности. Первый разъ онъ встрѣчается у Вавилонянъ. Греки узнали о немъ отъ Метона, который познакомился съ нимъ въ Вавилонѣ. Понятіе о циклѣ луны изъ Греціи перешло къ другимъ народамъ и сохранилось до нашего времени.

За начальный годъ луннаго цикла принимается тотъ, въ который новолуніе бываетъ въ самомъ началѣ года, именно 1-го Января; этотъ годъ обозначается черезъ 0. Затѣмъ слѣдуютъ числа 1, 2, 3...19 или 0. Они показываютъ порядокъ года въ лунномъ циклѣ и называются золотыми числами.

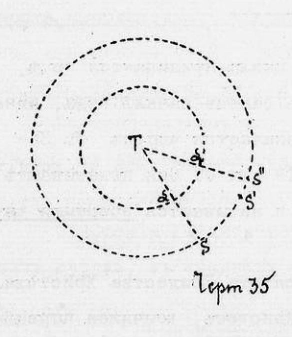
Наше лѣтоисчисленіе ведется отъ Рождества Христова, а въ тотъ годъ, когда родился Христосъ, кончился первый лунный годъ, такъ что 1-й годъ нашего лѣтоисчисленія - былъ 2-мъ въ лунномъ циклѣ, второй - третьимъ луннаго цикла, третій - четвертымъ и т.д. 1908-й, напримѣръ,1909 послѣ начала перваго луннаго цикла.

Такъ что, если мы хотимъ знать, сколько прошло лунныхъ цикловъ послѣ Р.Х., должны прибавить къ данному числу годовъ послѣ Рождества Христова, которое обозначимъ черезъ F, единицу и полученное число раздѣлить на 19;

положимъ, найдемъ частное q и остатокъ r, такъ что $F + I = 19q + r$. Остатокъ r и есть золотое число.

Если золотое число выйдетъ = 0, то его нужно принимать за 19-й, потому что 0 означаетъ, что послѣ начала луннаго круга еще ни одного года не прошло, или прошло 19 лѣтъ послѣ начала предыдущаго луннаго цикла.

Раньше мы опредѣлили, что́ называется сидерическимъ или звѣзднымъ мѣсяцемъ; покажемъ теперь, какъ опредѣляется его величина, если величина синодическаго оборота извѣстна.



Черт 35

Пусть въ нѣкоторый моментъ луна $\mathfrak{L}$, солнце S и земля T находятся въ соединеніи (на одной прямой TS; черт. 35). Послѣ того, какъ луна, совершивъ свой полный оборотъ около T въ 360°, придетъ снова въ точку $\mathfrak{L}$ и займетъ свое прежнее положеніе относительно какой-либо звѣзды, то соединеніе не наступитъ, ибо солнце не остается неподвижнымъ и во время сидерическаго оборота луны успѣетъ перейти напр. въ точку S'. Новое соединеніе произойдетъ уже тогда, когда луна опишетъ кромѣ 360° еще дугу $\mathfrak{L}\mathfrak{L}_1$ и солнце займетъ точку S''.

Обозначимъ черезъ E число среднихъ сутокъ, заключающихся въ среднемъ звѣздномъ мѣсяцѣ, черезъ S число сутокъ въ среднемъ синодическомъ; пусть μ есть среднее суточное движеніе солнца по эклиптикѣ; μ очевидно $= 360^\circ$,

дѣленнымъ на продолжительность тропическаго года, т. е.

$$\frac{360^\circ}{365,2422} = 0^\circ,985608;$$

такъ что солнце въ теченіе синодическаго мѣсяца, т. е. въ S сутокъ, проходитъ на небесной сферѣ дугу μS; луна въ это время пройдетъ $360^\circ + \mu S$, а въ теченіе сидерическаго мѣсяца, т. е. въ E сутокъ, она пройдетъ 360°.

Такъ какъ поступательныя движенія луны и солнца происходятъ въ одинаковыхъ направленіяхъ, то:

$$E : S = 360^\circ : 360^\circ + \mu S, \text{ откуда:}$$

$$= \frac{360^\circ . S}{360 + \mu S}$$

Подставляя вмѣсто μ - $0^\circ,98568$, а вмѣсто S - 29 с, 530588531167, находимъ, что

E = <u>27 сут.,32166142 или 27 сут. 7 час. 43 мин. 11 сек., 544.</u>

Такъ какъ въ теченіе звѣзднаго мѣсяца луна проходитъ 360°, то <u>средняя скорость движенія луны около земли есть</u>

$$\frac{360^\circ}{27,32166142} = 13^\circ 10' 34'',86 \text{ въ сутки.}$$

Промежутокъ времени, въ который луна возвращается къ тому же самому узлу, называется <u>драконическимъ</u> мѣсяцемъ луны. Пусть X - число средн. сутокъ, заключающихся въ среднемъ драконическомъ мѣсяцѣ, E - число сутокъ въ среднемъ сидерическомъ мѣсяцѣ, F - число сутокъ въ одномъ среднемъ оборотѣ линіи узловъ.

Линія узловъ лунной орбиты вращается съ перемѣнною скоростью обратнымъ движеніемъ отъ O къ W. Среднимъ числомъ долгота восходящаго узла отступаетъ въ 100 юліанскихъ годовъ на $1934^\circ,16$; въ одинъ годъ на $19^\circ 20' 29'',76$ и въ одни сутки на $3' 10'',64$; полный оборотъ линія узловъ

совершаетъ среднимъ числомъ въ 6793 сут., 39108 или въ 18 юліанскихъ годовъ 218 сутокъ 21 час. 23,2 секунды.

Значитъ $\frac{360^\circ}{X}$ есть разстояніе, проходимое луною въ сутки по отношенію къ узлу; $\frac{360^\circ}{E}$ разстояніе, проходимое ею въ сутки относительно звѣздъ, и на $\frac{360^\circ}{F}$ въ сутки отступаетъ узелъ въ противную сторону.

Вслѣдствіе этого составляемъ уравненіе:

$$\frac{360}{X}=\frac{360}{E}+\frac{360}{F} \text{ или } \frac{1}{X}=\frac{1}{E}+\frac{1}{F}$$

Рѣшая его, находимъ

$$X=\frac{EF}{E+F}$$

но E = 27 с., 32166108, F = 6793 с., 39108; подставляя эти величины въ выраженіе X и сдѣлавъ соотвѣтствующія вычисленія, мы увидимъ, что въ среднемъ драконическомъ мѣсяцѣ заключается 27 с.,21222, т.е. 27 сут. 5 час. 5 м. 35 сек.,8. Драконическій мѣсяцъ меньше синодическаго и звѣзднаго.

Вычислимъ также число сутокъ, въ теченіе которыхъ солнце возвращается къ одному и тому же узлу лунной орбиты.

Мы знаемъ, что угловое перемѣщеніе солнца относительно луннаго узла = угловому перемѣщенію солнца относительно неподвижныхъ звѣздъ + угловое перемѣщеніе линіи узловъ относительно неподвижныхъ звѣздъ. Итакъ, обозначимъ среднюю длину періода, въ теченіе котораго солнце возвращается къ одному и тому же узлу лунной орбиты, чрезъ Y сутокъ; пусть T есть число сутокъ въ нашемъ звѣздномъ годѣ; F означаетъ то же, что и прежде.

Тогда:

1) $\frac{360}{Y}$ -угловое перемѣщеніе солнца относит. узла въ сут.

2) $\frac{360}{F}$ - " " луны " " " "

3) $\frac{360}{T}$ - " " солнца относит. звѣздъ " "

А посему:

$$\frac{360}{Y}=\frac{360}{F}+\frac{360}{T} \text{ или } \frac{1}{Y}=\frac{1}{F}+\frac{1}{T}=\frac{F+T}{FT};$$

$$Y=\frac{FT}{F+T}$$

Нашъ звѣздный годъ содержитъ средн числомъ - 365 с.,25637; F = 6793 сут.,39108, такъ что среднимъ числомъ солнце возвращается къ тому же узлу въ 346 с.61985 = Y.

Пусть теперь луна находится въ узлѣ и вмѣстѣ съ тѣмъ въ среднемъ соединеніи или въ противостояніи съ солнцемъ. Если мы хотимъ знать, чрезъ сколько времени солнце опять будетъ въ томъ же узлѣ и тоже въ соединеніи или противостояніи съ луною, должны выразить отношеніе $\frac{Y}{S}$, т.е.

$$\frac{346{,}61985}{29{,}530589}$$

въ видѣ непрерывной дроби. Останавливаясь на первой подходящей дроби, находимъ, что

$$\frac{Y}{S}=\frac{223}{19} \text{ или } 19Y=223S$$

Значитъ, число сутокъ, въ теченіе которыхъ солнце возвращается къ одному и тому же узлу лунной орбиты, взятое 19 разъ, должно очень мало отличаться отъ 223 синодическихъ мѣсяцевъ; и въ самомъ дѣлѣ:

29 сут.,530589 x 223 = 6585 сут.,32

346 сут.,61985 x 19 = 6585 сут.,78 (разность равна только 0,46 суткамъ, между тѣмъ какъ періодъ содержитъ 6585 с.,32 или 18 юліанскихъ годовъ и 10,82, почти

II сутокъ).

На основаніи всего сказаннаго, мы заключаемъ,что затменіе солнца и луны черезъ I8 лѣтъ II сутокъ должны происходить какъ разъ въ той послѣдовательности,въ какой они были видимы за I8 лѣтъ II сутокъ прежде.Періодъ этотъ называется саросомъ. Онъ былъ извѣстенъ еще древнимъ астрономамъ и за I000 лѣтъ до Р.Х. Китайцы пользовались имъ для предсказанія затменій. Впрочемъ, затменія, предсказанныя на основаніи сароса, не всегда точно оправдываются; неравенства въ движеніи солнца, луны и узловъ лунной орбиты, а также нѣкоторыя другія причины могутъ произвести то, что затменіе въ предугаданный моментъ и не состоится x).

Кромѣ вышеназванныхъ оборотовъ или мѣсяцевъ луны: синодическаго, звѣзднаго и драконическаго, мы упомянемъ здѣсь еще о ея тропическомъ и аномалистическомъ оборотахъ.

I. Тропическимъ мѣсяцемъ называютъ тотъ періодъ времени, въ который луна среднимъ своимъ движеніемъ возвращается къ прежней долготѣ.

Разница между тропическимъ и звѣзднымъ мѣсяцемъ происходитъ отъ того, что точка весенняго равноденствія ♈ не остается неподвижной на небѣ, а вслѣдствіе предваренія или прецессіи отступаетъ нѣсколько отъ востока къ западу, т.е. противно направленію движенія луны. Точныя наблюденія показываютъ, что во время -

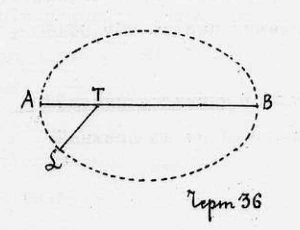
---

x) Въ Китаѣ два астронома Хи и Хо подверглись смертной казни за неудачное предсказаніе одного солнечнаго затменія. -

звѣзднаго оборота, т.е. въ 27 сут.7 час.43 мин.II сек., 544 точка весенняго равноденствія отступаетъ къ западу на 3",75, которыя луна и проходитъ въ 6 сек.,85 времени; такъ что тропическій мѣсяцъ луны равенъ ея сидерическому безъ 6 сек.,85, т.е. 27 сут.7 час.43 мин.II сек. 544 - 6 сек.,85 = 27 сут.7 ч.43 м.4 сек,694 = 27 сут., 32I608. Среднее же суточное движеніе по долготѣ составляетъ не $13^{\circ}10'34'',86$, а нѣсколько больше, именно - $13^{\circ}10'35''$.

2. Хотя, повидимому, луна совершаетъ свое движеніе по кругу, но точныя изслѣдованія этого пути показали, что въ дѣйствительности лунная орбита представляетъ собою эллипсъ, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится центръ земли.

На чертежѣ изображенъ эллипсъ, представляющій фигуру лунной орбиты; въ одномъ изъ его фокусовъ находится земля T . Большая ось этого эллипса AB называется линіею апсидъ.



Черт 36

Точка A , въ которой луна бываетъ въ ближайшемъ разстояніи отъ земли T , есть лунный перигей, а точка B въ которой луна бываетъ въ наибольшемъ разстояніи отъ земли T, есть лунный апогей. Уголъ ATL, составленный радіусомъ-векторомъ луны и большою осью ея, называется аномаліей. Вообще аномалія луны есть относительное положеніе линіи апсидъ и радіуса вектора луны.

Если бы большая ось, т.е. линія апсидъ оставалась неподвижною, то луна возвращалась бы къ прежней аномаліи чрезъ число сутокъ, равное ея звѣздному обороту, т.е. чрезъ 27 сут. 7 час. 43 мин. II сек.,544. Но на самомъ дѣлѣ наблюденія надъ движеніемъ лунной орбиты показываютъ, что линія апсидъ непрерывно вращается съ перемѣнною скоростью отъ W къ O, т.е. въ сторону, обратную движенію луны по орбитѣ, среднимъ прямымъ движеніемъ описывая дугу въ $40^{o},6904278$ т.е. въ $40^{o} 4I' 25'',59$ въ теченіе юліанскаго года, т.е. въ $365\frac{1}{4}$ сутокъ; въ одни сутки, значитъ, она проходитъ $\frac{40^{o},6904278}{365,25}$ т.е. $6' 4I'',09$; полный оборотъ свой линія апсидъ совершаетъ въ $\frac{360^{o}}{6' 4I'',09}$ сутокъ = 3232 сут.,5734, т.е. въ 8 юліанскихъ годовъ 3I0 сутокъ I3 часовъ 48 минутъ 29 секундъ. Вслѣдствіе этого движенія оси апсидъ и возвращеніе луны къ какой нибудь изъ ея прежнихъ аномалій наступаетъ не черезъ то число сутокъ, которое содержится въ ея звѣздномъ мѣсяцѣ, т.е. не черезъ S сут. = 27 с.,32166I42 а черезъ нѣсколько большее, именно черезъ 27с,55460 = = 27 с. I3 час. 37 сек.,4.

Этотъ періодъ и есть средній аномалистическій мѣсяцъ луны или періодъ возвращенія ея къ прежней аномаліи.

8. ВИДИМЫЯ ДВИЖЕНІЯ ПЛАНЕТЪ.

Звѣзды, которыя мѣняютъ свое положеніе относительно другихъ звѣздъ, постоянно сохраняющихъ свое взаимное расположеніе и называемыхъ поэтому неподвижными, еще въ древности были названы планетами, т.е. блуждающими.

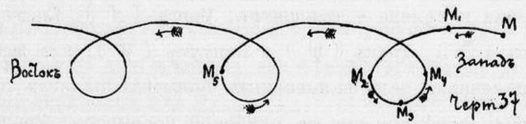
Планеты дѣлятся на верхнія и нижнія; къ нижнимъ - ближайшимъ къ солнцу и землѣ - относятся: Меркурій (☿) и Венера (♀); къ верхнимъ планетамъ - болѣе удаленныя отъ земли и солнца - относятся: Марсъ (♂), Юпитеръ (♃) Сатурнъ (♄), Уранъ (♅) и Нептунъ (♆); изъ всѣхъ перечисленныхъ такъ называемыхъ большихъ планетъ первыя пять были извѣстны еще въ глубокой древности; Уранъ открытъ въ концѣ XУIII стол., а Нептунъ въ серединѣ XIX в. Кромѣ этихъ большихъ планетъ къ солнечной системѣ принадлежитъ еще группа такъ называемыхъ малыхъ планетъ или астероидовъ, которыхъ въ настоящее время извѣстно около 700

Движенія планетъ между звѣздами кажутся намъ чрезвычайно неправильными и происходятъ то въ одну, то въ другую сторону, при чемъ движенія верхнихъ планетъ нѣсколько отличаются отъ видимыхъ движеній нижнихъ планетъ.

Верхнія планеты могутъ занимать какое угодно положеніе относительно солнца: онѣ могутъ находится въ соединеніи съ солнцемъ, въ противостояніи съ нимъ или занимать нѣкоторое среднее положеніе. Соединеніемъ планеты и солнца называется такое положеніе ихъ, когда долготы ихъ одинаковы. Противостояніемъ называется такое положеніе планеты относительно солнца, когда земля оказывается между ними, т.е. долготы ихъ отличаются на 180^{o}

Большую часть года верхняя планета имѣетъ такъ называемое прямое движеніе, т.е. съ запада на востокъ, это же направленіе имѣетъ и солнце во время своего годового

движенія по эклиптикѣ. Пусть наблюдаемая нами верхняя планета, сохраняя прямое движеніе, перемѣстилась изъ положенія M въ M_1 (черт.37); какъ показываютъ наблюденія, скорость планеты по мѣрѣ приближенія изъ M въ M_1 увеличивается и достигаетъ въ M_1 своей наибольшей величины; послѣ этого планета, сохраняя все еще прямое движеніе, начинаетъ двигаться все медленнѣе, пока не достигнетъ положенія M_2, гдѣ она кажется намъ какъ бы остановившеюся. Послѣ этой видимой остановки планета начинаетъ, сначала медленно, потомъ все скорѣе и скорѣе, двигаться въ обратную сторону, т.е. отъ востока на западъ, пока не достигнетъ наибольшей скорости этого обратнаго движенія въ M_3.



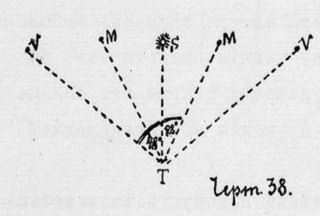
Затѣмъ скорость эта уменьшается и наконецъ въ M_4 планета опять кажется остановившеюся. Послѣ этой второй остановки, которая, какъ и первая, называется моментомъ стоянія, планета начинаетъ двигаться съ возрастающей скоростью по прямому направленію, и явленіе происходитъ опять въ описанномъ порядкѣ.

Время, протекшее между двумя соотвѣтствующими моментами стоянія, т.е. между M_2 и M_5 равно одному синодическому году.

Итакъ, скорость движенія верхнихъ планетъ не является равномѣрной; наибольшая скорость прямого движенія замѣчается тогда, когда планета находится въ соединеніи съ солнцемъ, а наибольшая скорость обратнаго движенія въ моментъ противостоянія.

Тогда какъ верхнія планеты могутъ занимать любое положеніе относительно солнца, нижнія планеты какъ бы связаны съ нимъ; наибольшее удаленіе Венеры отъ солнца равно 48^o, а Меркурія - 28^o. Движенія ихъ происходятъ слѣдующимъ образомъ.

Допустимъ, что мы наблюдаемъ Венеру, и наши наблюденія начаты съ того момента, когда Венера находится къ востоку въ наибольшемъ удаленіи отъ солнца и кажется неподвижной. Черезъ нѣкоторое время неподвижность планеты нарушается: она начинаетъ приближаться къ солнцу съ постепенно возрастающей скоростью, скрывается въ его лучахъ, т.е. становится невидимой, затѣмъ черезъ нѣсколько недѣль снова появляется, но уже къ западу отъ солнца и начинаетъ удаляться отъ него, постепенно замедляя свое движеніе. Отойдя на величину своего наибольшаго удаленія къ западу, Венера становится неподвижной. Затѣмъ она снова приближается къ солнцу, ускоряя свой ходъ до тѣхъ поръ, пока опять не исчезнетъ въ лучахъ солнца, чтобы затѣмъ появиться къ востоку отъ него. Постепенно замедляя скорость движенія, Венера достигаетъ своего наибольшаго удаленія къ востоку, и явленіе повторяется въ описанномъ порядкѣ. Такимъ образомъ Венера, подобно маятнику, совершаетъ свои колебанія около солнца. Наибольшая скорость размаха находится въ серединѣ, а наименьшая - на концахъ размаха. Буквально такое же движеніе наблюдается и у Меркурія; разница только въ величинахъ



Черт. 38.

наибольшаго удаленія (черт. 38).

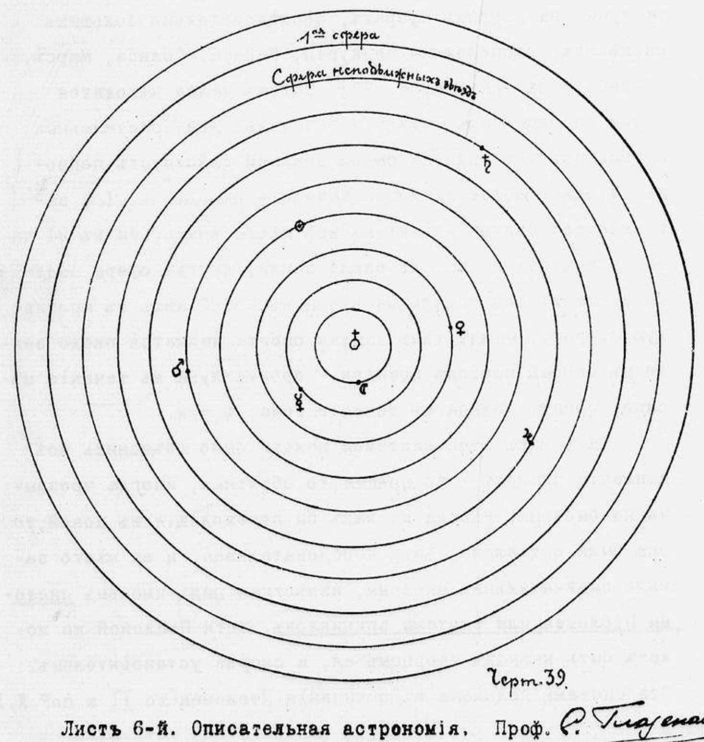
Находясь въ соединеніи съ солнцемъ, нижнія планеты одинъ разъ бываютъ за солнцемъ (верхнее соединеніе), другой разъ передъ солнцемъ (нижнее соединеніе); въ последнемъ случаѣ имѣетъ мѣсто такъ называемое прохожденіе нижнихъ планетъ черезъ дискъ солнца.

Таковы видимыя движенія планетъ; они не могли пройти незамѣченными и для древнихъ наблюдателей, и для объясненія этихъ видимыхъ движеній были составлены въ разныя времена разныя теоріи; изъ послѣднихъ до временъ Коперника наибольшимъ успѣхомъ пользывалась система Птоломея, къ разсмотрѣнію которой мы и переходимъ.

9. СИСТЕМА МІРА ПТОЛОМЕЯ.

Основное положеніе философскихъ воззрѣній древнихъ было то, что все въ природѣ должно быть совершенно, поэтому и движенія планетъ, какъ и прочихъ небесныхъ свѣтилъ, по ихъ воззрѣніямъ должны обладать свойствами совершенства: планеты должны двигаться равномѣрно и притомъ по наиболѣе совершеннымъ кривымъ - кругамъ. Эта наиболѣе совершенная форма движенія- равномѣрнаго и кругового - встрѣчается во всѣхъ гипотезахъ древнихъ, заключающихъ въ себѣ объясненіе строенія міра, и держится до временъ Коперника. Въ этихъ объясненіяхъ не затрагиваются вовсе физическія причины явленій, а все сводится къ геометрическимъ построеніямъ, наглядно уясняющимъ сложныя движенія небесныхъ свѣтилъ.

Во время Гиппарха (за 130 л. до Р.Хр.) установилось и господствовало мнѣніе, что земля находится въ центрѣ вселенной и пребываетъ всегда въ покоѣ, какъ область четырехъ элементовъ, всего грубаго, бреннаго, неспособнаго къ движенію; за воздухомъ слѣдуетъ область



Черт. 39.

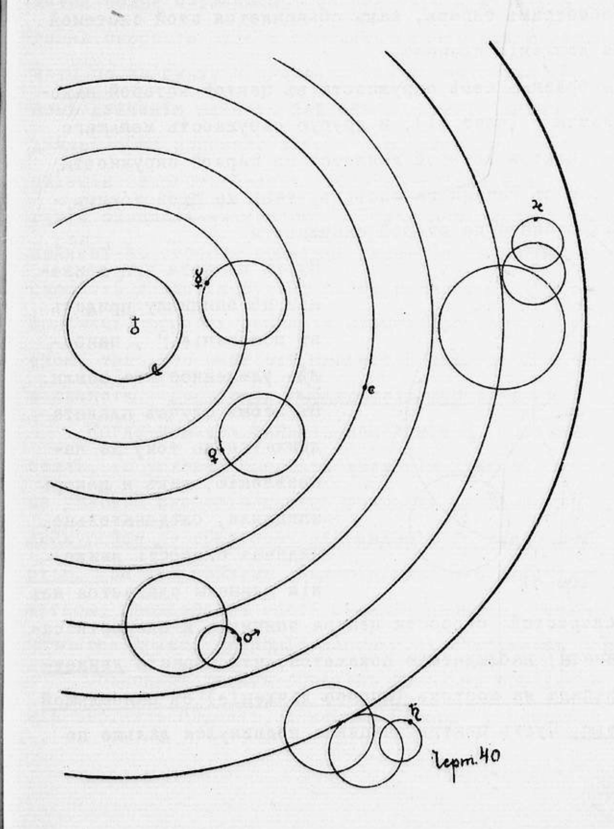
огненныхъ метеоровъ - молніи, кометъ и млечнаго пути; далѣе простирается чистый эфиръ съ твердыми, прозрачными сферами или орбитами, на которыхъ находятся небесныя свѣтила - тѣла простыя, неизмѣнныя и болѣе совершенныя, нежели земля; ихъ движенія суть круговыя и равномѣрныя.

Луна (☾) и солнце (☉) принадлежатъ къ числу планетъ; на поверхности сферы меньшаго радіуса помѣщается луна, на другихъ сферахъ, послѣдовательно большихъ размѣровъ, расположены Меркурій, Венера, Солнце, Марсъ, Юпитеръ и Сатурнъ (черт. 39). Затѣмъ далѣе находится сфера неподвижныхъ звѣздъ и еще далѣе двѣ кристальныя сферы, изъ которыхъ на самой внѣшней дѣйствуетъ перводвигатель - общее движущее начало - *primum mobile* , заставляющее своимъ вліяніемъ всѣ сферы вращаться въ 24 часа съ востока на западъ около земли; другая сфера медленно вращаетъ всѣ остальныя сферы въ 25000 лѣтъ въ противную сторону; между тѣмъ каждая орбита движется около земли въ особый періодъ времени - орбита луны въ теченіе мѣсяца, орбита солнца въ теченіе года, и т.д.

Такъ какъ этой системой нельзя было объяснить всѣ движенія планетъ - то прямыя, то обратныя, иногда чрезвычайно быстрыя, иногда же какъ бы переходящія въ покой, то она была оставлена, какъ неосновательная, и ея мѣсто заняла замѣчательная система, извѣстная подъ именемъ <u>системы Птоломея или системы эпицикловъ</u>, хотя Птоломей не можетъ быть названъ творцомъ ея, а скорѣе установителемъ. Эта система изложена въ сочиненіи Птоломея (во II в. по Р.Х.)

Μεγάλη Σύνταξις (*Magna Constructio* - Великое построеніе), которое извѣстно больше въ арабскомъ переводѣ подъ названіемъ "Альмагеста".

Чтобы выразить послѣдовательность странныхъ движеній планетъ и дать средства вычислять положенія ихъ въ данное время, Птоломей (раньше его Аполлоній и Гиппархъ) предполагаетъ, что каждая планета двигается съ особенной, свой-



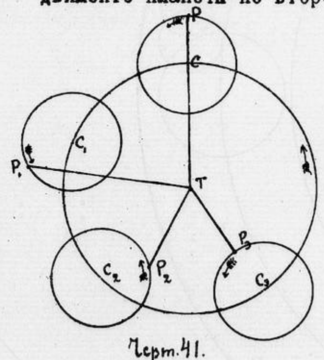
Черт. 40

ственной ей скоростью по окружности круга (эпицикла), котораго центръ катится съ другой скоростью по другому кругу (деференту, черт. 40), а центръ этого по третьему кругу и т.д.

При этомъ Птоломей допускаетъ, что центры планетныхъ орбитъ находятся нѣсколько въ сторону отъ средоточія вселенной, то-есть центра земли

Посмотримъ теперь, какъ объясняется этой системой видимыя движенія планетъ.

Вообразимъ себѣ окружность, въ центрѣ которой находится земля T (черт.41), и другую окружность меньшаго радіуса, центръ которой движется по первой окружности равномѣрно съ запада на востокъ; такъ же происходитъ - движеніе планеты по второй окружности.



Черт.41.

Пусть планета при движеніи по эпициклу придетъ въ положеніе P, наиболѣе удаленное отъ земли. Въ этомъ случаѣ планета движется по тому же направленію, какъ и центръ эпицикла, слѣдовательно, видимая скорость движенія планеты слагается изъ двухъ скоростей: скорости центра эпицикла и скорости самой планеты; наблюдателю покажется, что планета движется съ запада на востокъ (прямое движеніе) съ наибольшей скоростью. Пусть центръ эпицикла подвинулся дальше по

окружности деферента и пришелъ въ положеніе C_1, а планета въ P_1; наблюдателю на землѣ движенье покажется болѣе медленнымъ, такъ какъ онъ въ сущности видитъ только проекцію движенія на небесномъ сводѣ; въ первомъ случаѣ движеніе проектируется на небесную сферу въ истинную величину, а во второмъ случаѣ проекція угловой скорости будетъ только долей истинной скорости, и потому движеніе планеты покажется болѣе медленнымъ, но все-таки и въ этомъ случаѣ видимая скорость будетъ состоять изъ скорости движенія планеты по эпициклу и скорости центра эпицикла. При дальнѣйшемъ движеніи планета займетъ положеніе такое, что ея движеніе по эпициклу будетъ направлено по лучу зрѣнія, и видимая скорость будетъ состоять только изъ скорости движенія эпицикла къ востоку. Подвигаясь дальше, планета пойдетъ въ сторону обратную движенія эпицикла, и видимая скорость движенія будетъ равна разности двухъ скоростей, при чемъ скорость движенія планеты постепенно увеличивается, такъ что разность скоростей сдѣлается равной нулю, и планета покажется наблюдателю неподвижной.

Когда планета займетъ положеніе P_3, ближайшее къ землѣ, то угловая скорость движенія планеты будетъ больше угловой скорости центра эпицикла, и планета покажется движущейся по обратному направленію съ наибольшей скоростью. При дальнѣйшемъ движеніи скорость эта будетъ уменьшаться, произойдетъ опять стояніе планеты, послѣ чего начнется прямое движеніе планеты въ описанномъ порядкѣ.

Объяснивъ такимъ образомъ довольно порядочно движеніе верхнихъ планетъ, движенія Венеры и Меркурія система

эпицикловъ объяснить не смогла, и потому пришлось ее немного измѣнить: на сцену явилась "греческая" система, помѣстившая центры эпицикловъ Венеры и Меркурія въ солнце и оставшаяся во всемъ буквальной копіей Птоломеевскаго построенія.

Система эпицикловъ даетъ средства опредѣлять помощью геометрическихъ построеній мѣста планетъ-въ этомъ отношеніи она остроумна, но она сдѣлалась нелѣпой, когда ей придали физическое значеніе, то-есть сочли геометрическое построеніе за дѣйствительное устройство системы планетъ; при томъ, чтобы согласовать теорію съ наблюденіями, стали присоединять новые эпициклы въ добавленіе къ прежнимъ, такъ что подъ конецъ число ихъ возросло до того, что невольно бросались въ глаза вся несообразность и весь произволъ подобныхъ допущеній.

Извѣстенъ разсказъ про Альфонса X, короля Кастильскаго (въ XIII в.), замѣчательнаго для своего времени ученаго наблюдателя и астронома.

Говорятъ, что будучи разъ пораженъ всею сложностью и необъяснимой запутанностью системы эпицикловъ, онъ воскликнулъ: "Если бы Всемогущій Творецъ спросилъ у меня совѣта при сотвореніи міра, то міръ былъ бы устроенъ лучше и проще."

Въ промежутокъ времени между возникновеніемъ Греческой системы, приписываемой Гераклиду Понтикосу, и установленіемъ ученія Коперника - уже послѣ его смерти, возникла и существовала нѣкоторое время еще одна система, извѣстная подъ названіемъ Тихоновой; творцомъ ея -

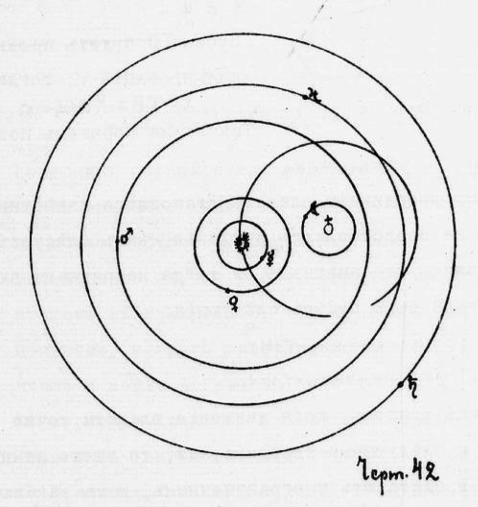
былъ современникъ Коперника - знаменитый астрономъ и - искусный наблюдатель Тихонъ Браге.

Эта система, хотя и остроумная, есть все-таки шагъ назадъ по отношенію къ ученію Коперника, несмотря на нѣкоторое сходство ея съ этой системой.

Разница между этими двумя системами заключается - главнымъ образомъ въ томъ, что Браге не хотѣлъ сдвинуть землю, а заставилъ солнце вращаться вокругъ нея.

Важнѣе всего то, что онъ перенесъ центры деферентовъ всѣхъ планетъ въ солнце.

Слѣдовательно, всѣ планеты, двигаясь кругомъ солнца (черт. 42),



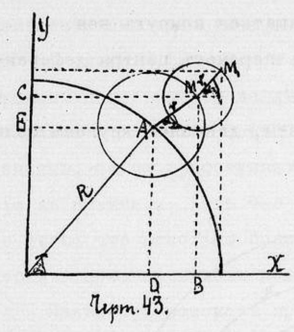
Черт. 42

вмѣстѣ съ послѣднимъ обращались еще вокругъ земли.

Система болѣе смѣлая, чѣмъ правдоподобная.

Разсмотримъ теперь аналитическое значеніе системы эпицикловъ.

Пусть плоскость деферента совпадаетъ съ плоскостью чертежа (черт.43) и пусть имѣется прямоугольная система координатъ, начало которыхъ находится въ центрѣ деферента. Пусть радіусъ деферента будетъ R, а радіусъ эпицикла r. Опредѣлимъ аналитически положеніе планеты M въ ея координатахъ x и y.



Черт. 43.

Пусть TD будетъ проекція R а DB проекція r; тогда

$$x = TB = R\cos\alpha_1 + r$$

Такимъ же образомъ получаемъ, что $y = TC = R\sin\alpha_1 + r\sin\alpha_2$

Поэтому координаты планетъ становятся извѣстными, и если онѣ не представляютъ движенія, какъ слѣдуетъ, то можно прибавить еще эпициклъ, и тогда координаты планеты, помѣщенной въ M_1 будутъ слѣдующія:

$$x = R\cos\alpha_1 + r\cos\alpha_2 + r_1\cos\alpha_3$$

$$y = R\sin\alpha_1 + r\sin\alpha_2 + r_1\sin\alpha_3$$

Въ концѣ концовъ, если движеніе планеты точно не выражается и слѣдующими координатами, то число эпициклов можно представить неограниченнымъ, и въ такомъ случаѣ координаты планеты выразятся слѣдующимъ образомъ:

$$x = R\cos\alpha_1 + r\cos\alpha_2 + r_1\cos\alpha_3 + r_2\cos\alpha_4 + \cdots$$

$$y = R\sin\alpha_1 + r\sin\alpha_2 + r_1\sin\alpha_3 + r_2\sin\alpha_4 + \cdots$$

то-есть двумя тригонометрическими или періодическими рядами, которые даютъ возможность вычислить движеніе планеты съ желаемой точностью, если извѣстны $R, r, r_1 \ldots$ и $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots$

Вотъ это-то обстоятельство и было причиной, почему система Птоломея оказалась столь живучей и устойчивой, такъ какъ увеличивая *ad libitum* число эпицикловъ и подбирая ихъ радіусы, можно было получить полное согласіе съ наблюденіями. Впрочемъ, это обстоятельство совершенно не уничтожало всей натянутости и произвольности этой системы

10. СИСТЕМА МІРА КОПЕРНИКА.

Коперникъ первый сталъ сомнѣваться въ правильности объясненія видимаго движенія планетъ по системѣ Птоломея и сталъ искать другого рѣшенія вопроса.

Внимательно изучая работы предшественниковъ, Коперникъ пришелъ къ заключенію, что не земля, а солнце является центромъ, вокругъ котораго движутся всѣ планеты, въ томъ числѣ и земля. Аргументы Коперника слѣдующіе.

Во-первыхъ, принципъ единства центровъ - положеніе, что земля есть центръ всѣхъ движеній - не выдержанъ въ системѣ Птоломея; въ самомъ дѣлѣ, если для объясненія видимаго движенія планеты предполагаются 3 эпицикла, то

земля является уже четвертымъ центромъ, слѣдовательно о землѣ, какъ о центральной точкѣ не можетъ быть и рѣчи. Въ частности, для Меркурія и Венеры указывалось, что эти планеты движутся вокругъ солнца, которое въ свою очередь вмѣстѣ съ ними движется вокругъ земли.

Ве-вторыхъ, къ этому присоединяется тотъ фактъ, что обратныя движенія верхнихъ планетъ происходятъ тогда и только тогда, когда планеты находятся въ противостояніи съ солнцемъ. Отсюда заключеніе, что между обратнымъ движеніемъ планетъ, и солнцемъ существуетъ прямая связь, иначе говоря, движенія всѣхъ планетъ вообще зависятъ отъ солнца.

Обратимся теперь къ численной сторонѣ вопроса.

Синодическимъ оборотомъ, какъ извѣстно, называется промежутокъ времени, въ теченіе котораго планета описываетъ полный оборотъ относительно солнца ; сидерическимъ, или звѣзднымъ оборотомъ планеты называется промежутокъ времени, въ теченіе котораго планета сдѣлаетъ полные 360° градусовъ.

Такъ какъ величина синодическаго обращенія планеты зависитъ отъ относительнаго положенія солнца, то мы должны синодическіе и сидерическіе обороты планеты разсматривать въ связи съ сидерическимъ оборотомъ солнца, пусть

S - сидерическій оборотъ солнца;

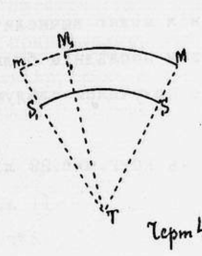
E - сидерическій оборотъ планеты;

T - синодическій оборотъ планеты, то-есть время, протекшее отъ одного противостоянія до другого;

тогда, если S, E и T означаютъ число дней, то въ теченіе сутокъ солнце и планеты пройдутъ соотвѣтствующія дуги:

$$\frac{360°}{S},\ \frac{360°}{E} \text{ и } \frac{360°}{T}$$

Постараемся найти, какая существуетъ зависимость между величинами разсматриваемыхъ движеній. Если T- земля (черт.44), а планета M находится въ данный моментъ въ соединеніи съ солнцемъ S, то черезъ сутки солнце пройдетъ дугу SS_1, бо́льшую, чѣмъ дуга MM_1, пройденная въ то же время планетой, и разность угловыхъ скоростей, то-есть величина дуги mM_1, будетъ равна синодической скорости планеты въ сутки и можетъ быть выражена какъ разность суточнаго сидерическаго пути солнца и звѣзднаго пути солнца, то-есть мы можемъ написать:



Черт 44.

$$\frac{360°}{S} - \frac{360°}{E} = \frac{360°}{T} \text{ или}$$

$$\frac{1}{S} - \frac{1}{E} = \frac{1}{T}$$

Эта формула вообще изображаетъ величину синодическаго оборота одной изъ верхнихъ планетъ, гдѣ $\frac{360°}{S} > \frac{360°}{E}$ для нижнихъ же планетъ, у которыхъ существуетъ обратное условіе $\frac{360°}{E} > \frac{360°}{S}$, синодическій оборотъ планеты выразится такъ:

$$\frac{1}{E} - \frac{1}{S} = \frac{1}{T}$$

Слѣдовательно, вообще для всѣхъ планетъ зависимость между синодическимъ и сидерическимъ оборотами выразится слѣдующимъ образомъ:

$$\pm\left(\frac{1}{S} - \frac{1}{E}\right) = \frac{1}{T}$$

Синодическій оборотъ планеты можетъ быть опредѣленъ изъ наблюденій съ большой точностью, такъ какъ моментъ противостоянія планеты опредѣляется моментомъ ея кульминаціи въ полночь; точно также сидерическій оборотъ солнца можетъ быть опредѣленъ по однѣмъ и тѣмъ же звѣздамъ, кульминирующимъ въ полночь. Такимъ образомъ, на основаніи вышеприведеннаго уравненія можно вычислить сидерическіе обороты планетъ. Когда эти послѣдніе были вычислены и поставлены по порядку, то получился слѣдующій результатъ:

У	Сатурна	сидерическій	оборотъ въ круг. чис.	29 л.
	Юпитера	"	"	II л.
	Марса	"	"	.2 г.
	Солнца	"	"	I г.
	Венеры	"	"	2/3 г.
	Меркурія	"	"	¼ г.

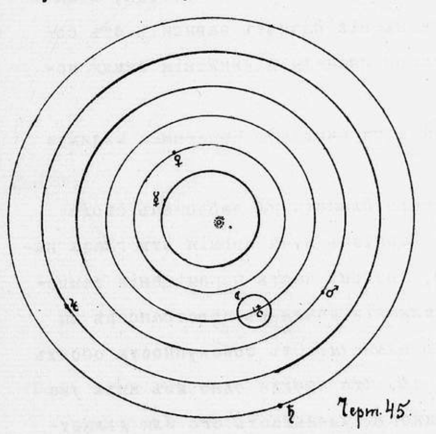
Эти звѣздные обороты вызвали у Коперника слѣдующаго рода соображенія: если принять не землю за центръ, а солнце, то получится такой же рядъ, только I годъ будетъ соотвѣтствовать не движенію солнца вокругъ земли, а земли вокругъ солнца.

Основываясь на вышеприведенныхъ соображеніяхъ Коперникъ нашелъ необходимымъ и естественнымъ перенести центръ всѣхъ движеній на солнце и допустить обращеніе всѣхъ планетъ и земли около солнца, то-есть онъ рѣшился "сдвинуть" землю и "утвердить" солнце.

Тогда обратныя движенія планетъ съ ихъ наибольшей скоростью во время противостояній съ солнцемъ будутъ

зависѣть, какъ думалъ Коперникъ, не отъ движенія солнца, а отъ перемѣщенія земли вмѣстѣ съ наблюдателемъ во время ея обращенія около солнца, что весьма естественно.

Система міра Коперника состоитъ въ слѣдующемъ: свѣтила, ничѣмъ не поддерживаемыя , расположены свободно въ пространствѣ; земля не находится въ центрѣ вселенной но принадлежитъ вмѣстѣ съ планетами къ одному семейству тѣлъ круглыхъ и темныхъ, которыя освѣщаются солнечными лучами и движутся вокругъ солнца (черт.45).


Черт. 45.

Земля обращается съ запада на востокъ около постоянной оси и, сопровождаемая луною, какъ спутникомъ, вращающимся около нея, совершаетъ въ теченіе года путь свой около солнца. Этотъ путь наклоненъ къ экватору, и въ разныхъ его точкахъ земная ось занимаетъ положенія, почти параллельныя между собою; отъ этого и зависитъ послѣдовательность временъ года.

Звѣзды, подобно солнцу, тѣла самосвѣтящіяся, сохраняютъ въ разное время почти одни и тѣ же мѣста, и находятся отъ насъ на огромныхъ разстояніяхъ, сравнительно съ которыми поперечникъ пути, описываемаго землею около

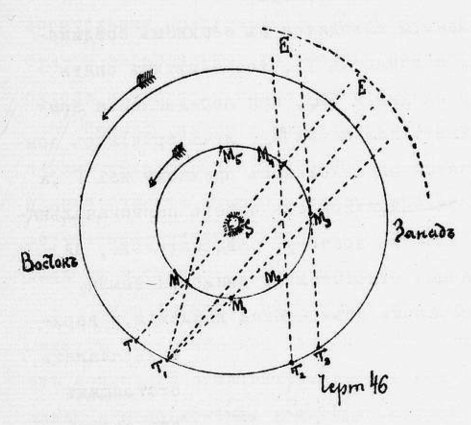
солнца, ничтоженъ. Поэтому мы и не замѣчаемъ во взаимномъ положеніи звѣздъ чувствительной перемѣны въ разныя времена года; малыя же перемѣны ихъ положеній относительно полюсовъ міра происходятъ отъ медленнаго колебанія земли, вслѣдствіе котораго земная ось движется съ востока къ западу около перпендикуляра къ эклиптикѣ, совершая въ 25000 лѣтъ свой полный оборотъ.

Такимъ образомъ, кажущееся суточное движеніе свѣтилъ объясняется вращеніемъ земли около ея оси; а запутанность видимаго движенія планетъ зависитъ отъ совокупнаго движенія самой планеты и движенія земли вокругъ солнца.

Вотъ какъ объясняется системою Коперника видимое движеніе планетъ.

Видимое перемѣщеніе планеты на небесномъ сводѣ обуславливается перемѣщеніемъ луча зрѣнія отъ глаза наблюдателя къ планетѣ; поэтому часть перемѣщенія земного наблюдателя при движеніи земли въ пространствѣ мы приписываемъ движенію планеты. Отъ совокупности обоихъ движеній происходитъ то, что иногда одно изъ нихъ увеличиваетъ другое, а иногда уменьшаетъ его или дѣлается равнымъ другому, и слѣдствіемъ всего этого бываетъ то прямое движеніе планеты, то ея стояніе, то обратное движеніе. Все зависитъ оттого, что перемѣщеніе планеты наблюдается нами не изъ центра ея орбиты-съ солнца,а съ земли. Поясннмъ сказанное на чертежѣ, при чемъ допустимъ, что планета движется около солнца отъ востока къ западу черезъ югъ.

Разсмотримъ сначала движеніе одной изъ нижнихъ планетъ и земли, полагая, что онѣ двигаются равномѣрно по кругамъ, какъ это слѣдуетъ по системѣ Коперника, при этомъ замѣтимъ, что чѣмъ дальше отстоитъ планета отъ солнца, тѣмъ медленнѣе ея угловое движеніе.

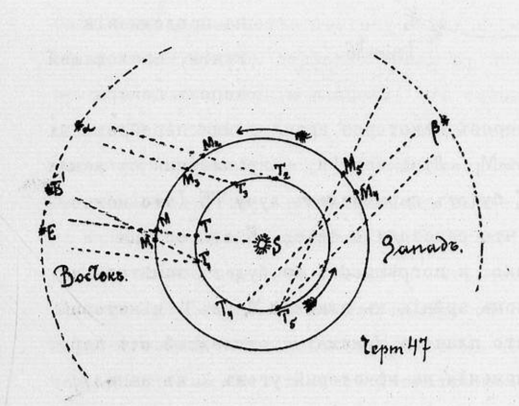


Итакъ, допустимъ, что земля и одна изъ нижнихъ планетъ находятся въ T и M (черт.46), а солнце въ S - на одной прямой съ солнцемъ и планетой, то-есть мы имѣемъ случай нижняго соединенія. Замѣтимъ какую нибудь звѣзду E на продолженіи линіи, проходящей черезъ центры трехъ свѣтилъ; черезъ нѣкоторое время земля перейдетъ въ T_1, а планета въ M_1. Лучъ зрѣнія, направленный съ земли въ T_1 къ звѣздѣ E будетъ параллеленъ лучу TE (это можно принять потому, что разстояніе звѣзды E отъ солнца и земли очень велико, и погрѣшность не будетъ замѣтна) и составитъ съ лучомъ зрѣнія къ планетѣ M_1 изъ T_1 нѣкоторый уголъ α, такъ что планета покажется отошедшей отъ первоначальнаго положенія на нѣкоторый уголъ α къ западу, то-есть она будетъ имѣть движеніе обратное.

Когда земля и планета займутъ такія два положенія, что лучи зрѣнія изъ T_2 въ M_2 и T_3 въ M_3 будутъ параллельны, то проекція движенія планеты отъ M_2 къ M_3 на земную орбиту будетъ равна пути, пройденному землею отъ T_2 до T_3, и поступательнаго движенія планеты мы не замѣтимъ, слѣдовательно, она покажется намъ неподвижной, и произойдетъ явленіе стоянія планеты подлѣ звѣзды .

Если же обѣ планеты находятся въ верхнемъ соединеніи: планета въ M_4, а земля въ T, то, замѣтивъ опять какую-нибудь звѣзду на линіи TM_4, при передвиженіи земли въ T_1 планета займетъ положеніе M_5; лучъ зрѣнія съ земли въ T_1 къ E останется параллельнымъ прежнему изъ T, а планета покажется отклонившейся отъ своего первоначальнаго положенія на уголъ β къ востоку; слѣдовательно, ея движеніе будетъ прямымъ относительно движенія земли.

Подобнымъ же образомъ объясняются движенія и верхнихъ планетъ, отстоящихъ отъ солнца дальше земли. Возьмемъ сначала моментъ противостоянія планеты съ солнцемъ, когда солнце S (черт.47) земля T и



Черт 47

планета M находятся на одной линіи противъ звѣзды E.

Пусть теперь земля перейдетъ въ T_1, а планета въ то же время займетъ положеніе M_1 и встанетъ противъ новой звѣзды E', то-есть будетъ казаться перемѣстившеюся въ обратную сторону движенія земли на уголъ ET_1E', съ востока къ западу.

Когда земля и планета будутъ занимать такія два относительныя положенія $T_2 T_3$ и $M_2 M_3$ гдѣ лучи зрѣнія T_2M_2 и T_3M_3 будутъ параллельны, то планета покажется неподвижной и будетъ наблюдаема подлѣ одной и той же звѣзды

Прямое движеніе планеты произойдетъ тогда, когда при перемѣщеніи земли изъ положенія T_4 въ T_5 и планеты изъ M_4 въ M_5 солнце будетъ находиться между планетой и землей. Въ этомъ случаѣ наблюдается кажущееся перемѣщеніе планеты съ запада на востокъ на уголъ $M_5T_5\beta$.

При объясненіи нѣкоторыхъ неравенствъ въ движеніи планетъ Коперникъ все-таки не могъ совершенно отрѣшиться отъ воззрѣній древнихъ; такъ онъ долженъ былъ ввести эпициклы для объясненія движенія Сатурна, Юпитера, Марса и Венеры, а для Меркурія онъ прибѣгаетъ къ еще болѣе сложному объясненію, допуская нѣсколько эпицикловъ.

Кромѣ того, Коперникъ, какъ сынъ своего вѣка, не могъ разстаться съ вѣрою въ совершенную форму движенія небесныхъ тѣлъ и предполагалъ, что планеты движутся равномѣрно по кругамъ.

Только въ слѣдующемъ уже XVII в. удалось генію Кеплера, изгнать эпициклы изъ астрономіи и открыть законы

С.ПБ. УНИВЕРСИТЕТА. ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. СТ. 6-ГРЕБЕЦКАЯ УЛ., 49-6. СПБ.

планетныхъ движеній при помощи многочисленныхъ и весьма хорошихъ наблюденій Тихона Браге; потомъ Ньютонъ и его преемники, основываясь на началахъ всемірнаго тяготѣнія, объяснили всѣ обстоятельства въ движеніи планетъ, ихъ спутниковъ и кометъ.

II. ПАРАЛЛАКСЪ ЗВѢЗДЪ.

Однимъ изъ наилучшихъ физическихъ доказательствъ теоріи Коперника служитъ параллаксъ звѣздъ.

Скажемъ прежде нѣсколько словъ о параллактическомъ движеніи вообще.

Наблюдатель, двигаясь среди большой системы, раздѣляющей его движеніе, не замѣчаетъ своего собственнаго движенія, но приписываетъ его внѣшнимъ предметамъ, не соединеннымъ съ системой движенія, и полагаетъ, что они бѣгутъ отъ него въ противоположную сторону.

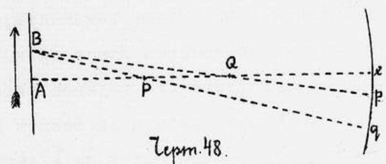
Внѣшніе, находящіеся въ покоѣ, предметы не только кажутся движущимися въ совокупности, когда мы сами движемся между ними, но повидимому они перемѣняютъ и свое относительное положеніе. Если при скорой ѣздѣ смотрѣть на одинъ какой нибудь предметъ, не отвлекая вниманія своего отъ всего ландшафта, то намъ покажется весь ландшафтъ обращающимся около этого предмета, какъ центра, при чемъ всѣ предметы между наблюдателемъ и предметомъ наблюденія отодвигаются назадъ, а всѣ предметы, находящіеся далѣе послѣдняго, опережаютъ его, двигаясь съ наблюдателемъ по одному направленію.

Такое видимое измѣненіе относительнаго положенія

предметовъ, происходящее отъ движенія наблюдателя, называется параллактическимъ движеніемъ.

Для объясненія его замѣтимъ, что мы относимъ положеніе каждаго предмета на поверхность воображаемой сферы неопредѣленнаго радіуса, въ центрѣ которой помѣщается нашъ глазъ.

Двигаясь по направленію AB (черт. 48), мы переносимъ съ собою эту сферу; лучи зрѣнія AP и AQ, которыми мы про-



Черт. 48.

ектируемъ предметы P и Q на поверхность сферы въ c, перемѣняютъ свое положеніе относительно линіи движенія AB и, обращаясь вокругъ соотвѣтствующихъ имъ предметовъ, какъ центровъ, принимаютъ новыя положенія BPp и BQq.

Такимъ образомъ проекціи предметовъ на сферу отходятъ назадъ съ разной угловой скоростью соразмѣрно близости предмета къ наблюдателю.

Видимое угловое движеніе предмета, происходящее отъ перемѣщенія точки нашего зрѣнія, называется параллаксомъ и выражается угломъ APB, составляемымъ двумя лучами зрѣнія къ предмету отъ нашего глаза въ двухъ его различныхъ положеніяхъ.

Очевидно, что величина параллактическаго движенія бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе разстояніе наблюдаемаго предмета отъ глаза, и когда это разстояніе чрезвычайно

велико въ сравненіи съ перемѣщеніемъ нашего глаза, тогда параллаксъ дѣлается нечувствительнымъ, или, другими словами, предметъ, повидимому, вовсе не измѣняетъ своего положенія.

Этимъ объясняется интересное явленіе въ горныхъ странахъ; наблюдатель, пройдя значительное разстояніе, замѣчаетъ лишь ничтожную параллактическую перемѣну въ относительномъ положеніи окружающихъ горъ.

Тѣмъ болѣе, слѣдовательно, мы можемъ заключить, что звѣзды удалены отъ насъ на громадныя разстоянія.

Если бы это не было справедливо, то видимое угловое разстояніе двухъ какихъ нибудь звѣздъ въ зенитѣ казалось бы намъ гораздо большимъ, чѣмъ разстояніе тѣхъ же звѣздъ близъ горизонта.

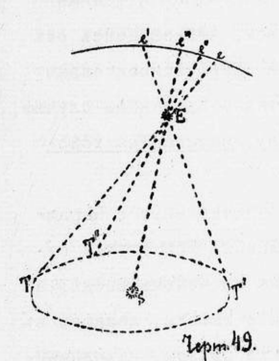
Но самыя точныя наблюденія во всѣхъ мѣстахъ земной поверхности надъ угловыми разстояніями звѣздъ во всѣхъ точкахъ ихъ суточнаго пути не обнаруживаютъ ни малѣйшаго различія; слѣдовательно, разстоянія звѣздъ отъ земли громадны.

Въ этомъ еще болѣе убѣждаетъ насъ слѣдующее явленіе: въ теченіе года, какъ извѣстно, земля описываетъ путь около солнца; радіусъ этого пути сравнительно очень великъ, а между тѣмъ уголъ, образуемый лучами зрѣнія, идущими отъ разныхъ точекъ земной орбиты, до того малъ, что долго не могли убѣдиться въ его существованіи, и въ недавнее время только стало вполнѣ достовѣрнымъ, что на самомъ дѣлѣ есть кажущееся перемѣщеніе звѣздъ вслѣдствіе движенія самой земли.

Посмотримъ же, какимъ образомъ происходитъ это перемѣщеніе звѣздъ.

Представимъ себѣ въ перспективѣ орбиту земли; въ центрѣ ея пусть будетъ солнце S (черт.49).

Пусть на нѣкоторомъ конечномъ разстояніи отъ земли находится неподвижная звѣзда E.



Черт.49.

Наблюдатель, двигаясь по орбитѣ вмѣстѣ съ землей, которая послѣдовательно занимаетъ точки T, T', T'' и т.д., очевидно, долженъ усматривать звѣзду E въ разныхъ направленіяхъ.

Дѣйствительно, если наблюдатель находится сначала въ точкѣ T, то звѣзда E видна по нѣкоторому направленію TE и проектируется этимъ направленіемъ на небесной сферѣ въ нѣкоторой точкѣ e, пусть наблюдатель перемѣстился въ T' - звѣзда E будетъ видна уже по направленію $T'E$ и глазъ наблюдателя отнесетъ положеніе ея уже въ нѣкоторую другую точку e', получающуюся отъ пересѣченія линіи $T'E$ съ небесною сферой.

Такимъ же точно образомъ, когда наблюдатель будетъ въ точкѣ T'', звѣзда будетъ видна въ точкѣ e'' и т.д.; для каждаго особеннаго положенія земли на орбитѣ можетъ получиться особенное положеніе звѣзды на небесной сферѣ.

Если бы мы могли наблюдать звѣзду съ солнца, то, конечно, звѣзда оставалась бы для насъ всегда неподвижною и всегда была бы видна по направленію SE въ точкѣ e''', эта точка

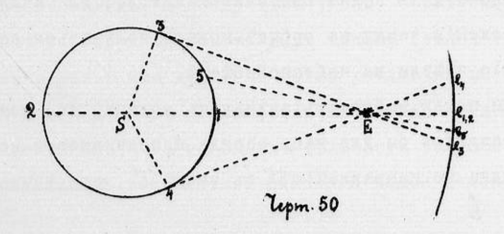
считается истиннымъ, или среднимъ положенiемъ свѣтила E на небесной сферѣ.

Уголъ TES, образованный двумя линiями, соединяющими свѣтило E съ землею и съ солнцемъ, носитъ названiе параллакса. Очевидно, это есть уголъ, подъ которымъ виденъ былъ бы съ звѣзды радiусъ-векторъ земной орбиты.

Конечно, при движенiи земли, для одной и той же звѣзды, уголъ этотъ можетъ измѣняться, что зависитъ отъ положенiя самой звѣзды на небесной сферѣ относительно плоскости земной орбиты или эклиптики. Въ такомъ случаѣ, уголъ, имѣющiй наибольшую величину, называется годовымъ параллаксомъ звѣзды.

Чтобы получить болѣе ясное представленiе о параллактическомъ движенiи звѣздъ, различимъ три случая относительно мѣстоположенiя звѣздъ на небесномъ сводѣ; а именно, разсмотримъ сначала движенiе звѣзды, лежащей въ плоскости эклиптики, затѣмъ движенiе звѣзды, находящейся въ одномъ изъ полюсовъ эклиптики и, наконецъ, разсмотримъ тотъ случай, когда звѣзда не находится ни въ плоскости эклиптики, ни на ея полюсахъ.

а) Пусть плоскость эклиптики совпадаетъ съ плоскостью чертежа и въ этой же плоскости лежитъ звѣзда



Черт. 50

(черт.50). Представимъ себѣ орбиту земли и въ центрѣ ея солнце S.

Если проведемъ черезъ E и S прямую SE, то она пересѣчетъ орбиту земли въ двухъ точкахъ (1) и (2).

Когда земля будетъ находиться въ этихъ точкахъ, то звѣзда E для того и другого положенiя земли будетъ видна по одному и тому же направленiю, какъ и изъ центра солнца; разница лишь въ томъ, что наблюдатель, находясь въ точкѣ (1), увидитъ звѣзду, а, передвинувшись въ положенiе точки (2), не увидитъ ея, потому что ее заслонитъ собою солнце.

Точка $\ell_{1,2}$ будетъ опредѣлять положенiе звѣзды на небесной сферѣ въ этихъ двухъ случаяхъ.

Проведемъ изъ звѣзды E касательныя линiи къ орбитѣ; когда земля будетъ находиться въ точкахъ касанiя - (3) и (4), то наблюдатель увидитъ звѣзду по направленiю касательныхъ, и положенiе звѣзды на небесной сферѣ для точки (3) будетъ ℓ_3 и для точки (4) будетъ ℓ_4.

Всѣмъ остальнымъ точкамъ земной орбиты будетъ соотвѣтствовать на небесной сферѣ положенiе звѣзды промежуточное - между ℓ_3 и ℓ_4. Стало быть точки ℓ_3 и ℓ_4 будутъ самыми крайними положенiями звѣзды E на небесномъ сводѣ.

Если мы будемъ дѣлать наблюденiя надъ звѣздою въ теченiе цѣлаго года, то намъ будетъ казаться, что одно время звѣзда идетъ отъ $\ell_{1,2}$ до ℓ_3, проходя промежуточныя точки; достигнувъ крайняго положенiя въ ℓ_3, она будетъ возвращаться назадъ, пройдетъ опять черезъ $\ell_{1,2}$ и дойдетъ до ℓ_4; затѣмъ движенiе снова сдѣлается обратнымъ, и т.д.

при томъ мы замѣтимъ, что направленіе движенія звѣзды всегда обратное движенію земли по орбитѣ.

Положеніе звѣзды - e называется среднимъ ея мѣстомъ.

Такъ какъ мы выбрали звѣзду такую, которая лежитъ въ плоскости эклиптики, то и кажущееся движеніе звѣзды будетъ происходить въ той же плоскости, потому что всѣ лучи зрѣнія, идущіе отъ разныхъ точекъ земной орбиты къ звѣздѣ, лежатъ въ плоскости эклиптики; вслѣдствіе громадной удаленности отъ насъ звѣзды, движеніе ея представится намъ въ видѣ прямой линіи.

Всякій уголъ, который будетъ образованъ линіями, идущими отъ солнца къ звѣздѣ E и отъ нѣкотораго положенія земли къ той же звѣздѣ E будетъ параллаксомъ ея; годовымъ ея параллаксомъ будетъ наибольшій изъ угловъ, то-есть уголъ $(3)ES = (4)ES$

Когда земля находится въ точкахъ (1) и (2), то величина параллакса наименьшая - она равна нулю.

Разберемъ зависимость между величиною параллакса звѣзды и долготами звѣзды и солнца, предполагая, конечно, что звѣзда лежитъ въ плоскости эклиптики.

Пусть въ направленіи $S\gamma$ (черт. 51) лежитъ точка весенняго равноденствія γ; когда параллаксъ звѣзды $=0$ то земля, какъ уже показано, находится или въ точкѣ (1) или въ точкѣ (2) Обозначимъ долготу солнца знакомъ $\lambda_\odot$ долготу звѣзды черезъ λ; для точки (1) уголъ: $\gamma(1)S = \lambda_\odot$ $\gamma(1)E = \lambda$, и

$$\lambda_\odot = \lambda + 180°$$

для точки (2) $\lambda_\odot = \gamma(2)S$, и $\lambda = \gamma(2)E$, то-есть

$$\lambda_\odot = \lambda$$

потому и скажемъ, что параллаксъ звѣзды равенъ нулю (=0), когда

$$\lambda_\odot = \lambda,\ \lambda + 180°$$

Возьмемъ теперь положеніе земли въ точкахъ (3) и (4); здѣсь параллаксъ имѣетъ наибольшую величину, то-есть будетъ годовымъ параллаксомъ.

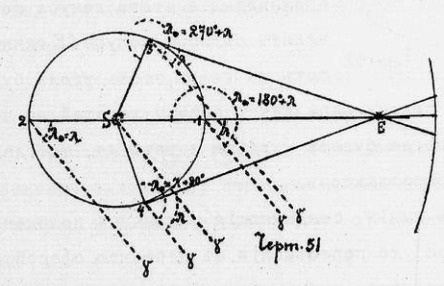
Въ точкѣ (3): $\lambda_\odot = \gamma(3)S$; $\lambda = \gamma(3)E$, и

$$\lambda_\odot = \lambda + 270°$$

для точки (4): $\lambda_\odot = \gamma(4)S$; $\lambda = \gamma(4)E$, и

$$\lambda_\odot = \lambda + 90°$$

а потому вообще параллаксъ имѣетъ



Черт. 51

наибольшую величину, когда:

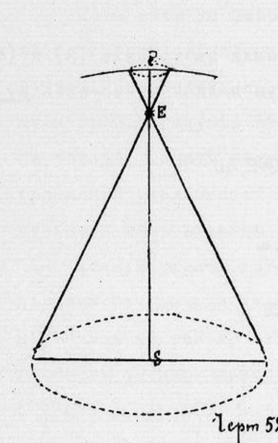
$$\lambda_\odot = \lambda \pm 270°$$

в) Вообразимъ снова въ перспективѣ земную орбиту, въ центрѣ - солнце S, а въ полюсѣ эклиптики звѣзду E.

Если бы наблюдатель находился на солнцѣ, то онъ увидѣлъ бы звѣзду E въ нѣкоторой точкѣ e (черт. 52) на небес-

ной сферѣ по направленію линіи SE. Для наблюдателя же, находящагося на землѣ, вообще звѣзда въ точкѣ e не будетъ видна, а отойдетъ отъ e въ сторону.

Замѣтимъ, что во взятомъ нами случаѣ земля во всякомъ положеніи своемъ на орбитѣ одинаково бываетъ удалена отъ звѣзды, потому что орбиту земли мы считаемъ кругевою линіею; а потому лучи зрѣнія, идущіе отъ разныхъ положеній наблюдателя къ звѣздѣ E, образуютъ поверхность прямого конуса, вершина котораго лежитъ въ точкѣ E, а основаніе - кругъ земного пути; всѣ производящія этого конуса составляютъ съ осью конуса SE одинъ и тотъ же уголъ, этотъ уголъ будетъ параллаксомъ, а потому параллаксъ звѣзды, лежащей на полосѣ эклиптики, всегда будетъ - одинъ и тотъ же, всегда будетъ годовымъ параллаксомъ.

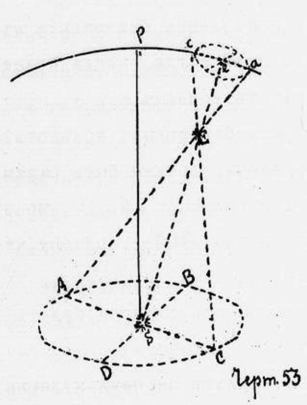


Черт 52

Продолжимъ линіи, соединяющія различныя положенія земли съ звѣздою, до пересѣченія съ небесною сферой; очевидно, точки пересѣченія будутъ также лежать на окружности нѣкотораге круга; эта окружность и покажетъ намъ тотъ путь, который описываетъ видимое положеніе звѣзды въ теченіе года.

с) Посмотримъ, какъ въ продолженіе года будетъ измѣнять свое положеніе на небесной сферѣ звѣзда, не лежащая ни на полюсѣ эклиптики ни въ плоскости ея.

Пусть этимъ условіямъ удовлетворяетъ нѣкоторая звѣзда E (черт. 88).



Черт 53

Если проведемъ лучи зрѣнія отъ разныхъ точекъ положенія наблюдателя къ звѣздѣ, то получимъ образованный этими лучами косой конусъ. Нетрудно убѣдиться, что всякое сѣченіе этого конуса плоскостью, перпендикулярной къ оси его SE, будетъ не кругъ, а эллипсъ. Сѣченіе конуса съ небесною сферой тоже будетъ эллипсъ, потому что линія этого сѣченія будетъ лежать въ плоскости, параллельной сѣченію

Остается разсмотрѣть, какимъ образомъ расположены оси этого эллипса?

Возставимъ изъ точки S линію, перпендикулярную къ плоскости эклиптики; очевидно - эта линія будетъ осью эклиптики и пересѣчетъ небесную сферу въ полюсахъ эклиптики

Проведемъ плоскость черезъ ось эклиптики и ось косого конуса; пусть сѣченіе этой плоскости съ плоскостью эклиптики, или орбиты будетъ линія BD.

Всѣ діаметры орбиты перпендикулярны къ BS; а, если діаметръ AC перпендикуляренъ и къ BD, то онъ перпендикуляренъ къ самой плоскости BSD, а, слѣдовательно, и къ оси конуса SE, лежащей въ этой плоскости, то-есть углы

ASE и ESC будутъ прямые.

Вслѣдствіе этого изъ всѣхъ діаметровъ діаметръ AC будетъ виденъ со звѣзды подъ наибольшимъ угломъ; а потому и звѣзда E будетъ имѣть наибольшее отклоненіе въ обѣ стороны отъ центра своего пути тогда, когда будетъ лежать въ плоскости AEC, то-есть въ точкахъ a и c .

Треугольники AEC и aEc равнобедренные; вслѣдствіе того, что углы при вершинахъ равны, должны быть равны углы и при основаніяхъ; а потому $\angle aAC = \angle Aac$; но это возможно лишь въ томъ случаѣ, когда $AC \parallel ac$, потому что углы aAC и Aac - накрестъ лежащіе.

Отсюда и видимъ, что большая ось эллипса будетъ параллельна плоскости эклиптики.

Малая ось, какъ извѣстно, будетъ перпендикулярна къ большей.

Итакъ, звѣзды при своемъ параллактическомъ движеніи будутъ описывать линіи трехъ родовъ: или прямую, когда звѣзда лежитъ въ плоскости эклиптики; или кругъ, - когда звѣзда находится на одномъ изъ полюсовъ эклиптики; или наконецъ эллипсъ, - это случится тогда, когда звѣзда не лежитъ ни въ плоскости эклиптики ни на полюсахъ ея.

Легко убѣдиться, что третій родъ кривой, описываемой звѣздою, должно принять въ общемъ случаѣ, и что первые два случая только частные третьяго.

Если повернемъ кругъ ABCD перпендикулярно къ лучу

зрѣнія, то въ пересѣченіи конуса съ небесною сферою будетъ кругъ (2-ой случай).

Если же плоскость круга ABCD будетъ совпадать съ лучемъ зрѣнія, направленнымъ къ звѣздѣ, то конусъ превратится въ плоскость и въ сѣченіи съ небесною сферой даетъ не эллипсъ, а прямую (I-й случай).

То же самое можно показать и аналитическимъ путемъ; но для этого надо знать формулу, связывающую величины полуосей эллиптическаго движенія звѣздъ съ положеніемъ ея на небесномъ сводѣ.

Въ сферической астрономіи выводится эта формула - вотъ она:

$$b = a \sin\beta$$

гдѣ a и b полуоси эллипса, а β - широта свѣтила.

Когда звѣзда лежитъ въ плоскости эклиптики, то

$$\beta = 0^\circ \text{ и } b = 0$$

то-есть, эллипсъ обращается въ прямую линію (I-й случай)

Когда звѣзда находится на одномъ изъ полюсовъ эклиптики, то

$$\beta = 90^\circ \text{ и } b = a$$

то-есть эллипсъ превращается въ кругъ (2-й случай).

Наконецъ, когда широта свѣтила такова, что

$$0^\circ < \beta < 90^\circ, \text{ то } b = a \sin\beta$$

и малая ось тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе уголъ β , то-есть чѣмъ дальше звѣзда отъ эклиптики.

О существованіи параллакса догадывался еще Копер-

никъ, но наблюденія его не могли обнаружить этого явленія по той причинѣ, что ошибки въ тѣ времена простирались до 5', тогда какъ годичный параллаксъ ближайшей къ намъ звѣзды - *α Centauri* ; достигаетъ только 0".75.

Коперникъ справедливо объяснялъ чрезвычайную трудность открытія параллакса при посредствѣ наблюденій тѣмъ, что разстоянія звѣздъ отъ насъ настолько велики, что лучи отъ нихъ даже къ различнымъ точкамъ орбиты земной можно считать вполнѣ параллельными.

Многіе современники Коперника сомнѣвались въ существованіи такихъ громадныхъ разстояній и поэтому относились скептически къ его системѣ, но послѣдователи Коперника были вполнѣ убѣждены въ существованіи параллакса, и, если онъ не былъ еще открытъ, то только вслѣдствіе несовершенства инструментовъ. Открытіе параллакса хотя одной звѣзды послужило бы блистательнымъ подтвержденіемъ системы Коперника и обезоружило бы всѣхъ противниковъ ея.

Настойчивое стремленіе открыть параллаксъ принесло большую пользу практической астрономіи.

12. ГОДОВАЯ АБЕРРАЦІЯ ЗВѢЗДЪ.

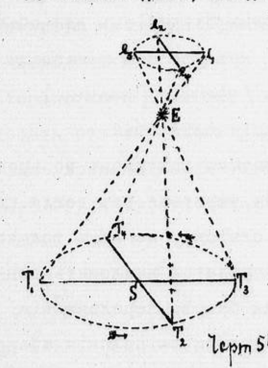
Ревностное стараніе послѣдователей Коперниковой теоріи - открыть параллаксъ звѣздъ и тѣмъ самымъ блистательно подтвердить систему міра Коперника послужило причиной открытія другого явленія, точно также весьма хорошо доказавшаго справедливость выводовъ Коперника относительно устройства вселенной.

Это явленіе есть аберрація неподвижныхъ звѣздъ (*aberratio fixarum*)...

Въ началѣ XVIII ст. за разрѣшеніе вопроса о параллаксѣ звѣздъ взялся англійскій астрономъ Брадлей. При помощи своего богатаго друга Молине онъ укрѣпилъ телескопъ неподвижно въ стѣнѣ дома, направивъ трубу на *γ Draconis*, которая кульминируетъ въ зенитѣ Гринвичской обсерваторіи; къ окуляру былъ придѣланъ микрометръ, которымъ и измѣрялось малѣйшее перемѣщеніе звѣзды по зенитному разстоянію. Послѣ двухлѣтнихъ наблюденій перемѣщенія *γ Draconis* стали очевидны; наблюденія эти показали, что въ теченіе года звѣзда измѣняла положеніе круглымъ числомъ на 40".

Однако ближайшее изученіе этихъ перемѣщеній показало, что они происходятъ не въ такой послѣдовательности, какъ слѣдовало ожидать отъ параллактическаго движенія, а потому причина открытаго имъ явленія должна быть другая.

Въ самомъ дѣлѣ, когда земля была въ положеніи



Черт 54

(черт.54), Брадлей увидалъ звѣзду не въ ε_1 , какъ слѣдовало бы по теоріи параллакса, а въ ε_4 ; когда земля перемѣстилась въ T_2, то звѣзда стала видна не въ ε_2 а въ ε_1, наблюдая звѣзду изъ T_3 , Брадлей увидалъ ее не въ ε_3 , а въ ε_2, наблюдая изъ T_4 , онъ замѣтилъ

звѣзду въ e_3 , а не въ e_4 , т.е. вмѣсто движенія звѣзды на небесной сферѣ - обратнаго перемѣщенію земли, какъ должно было бы быть, если бы наблюденное явленіе было слѣдствіемъ параллакса, Брадлей замѣтилъ прямое движеніе звѣзды, при чемъ <u>мѣсто звѣзды находилось въ плоскости, опредѣляемой лучемъ зрѣнія отъ земли къ истинному положенію звѣзды въ Е и направленіемъ движенія земли,</u> а не на продолженіи луча зрѣнія, какъ это должно быть въ случаѣ параллактическаго движенія звѣзды. Поэтому Брадлей долженъ былъ прійти къ заключенію, что причина этого явленія не параллаксъ, а какая то другая; и сталъ доискиваться ея.

Около этого времени датскій астрономъ Олаусъ Ремеръ, наблюдая затменія спутниковъ Юпитера, сдѣлалъ одно очень важное открытіе, а именно, что свѣтъ распространяется, хотя и чрезвычайно быстро, но не мгновенно; найдено было, что скорость свѣта въ одну секунду равна почти 300.000 километровъ.

Брадлей воспользовался этимъ открытіемъ для объясненія замѣченнаго имъ явленія, которое онъ и назвалъ аберраціей неподвижныхъ звѣздъ (*aberratio fixarum*).

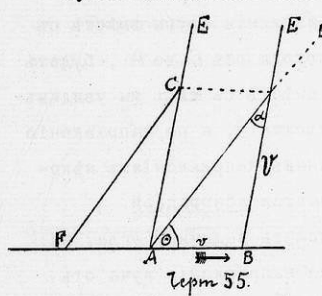
Физическая причина аберраціи слѣдующая.

Представимъ себя съ раскрытымъ зонтикомъ во время дождя, падающаго отвѣсно. Чтобы укрыться отъ дождя, приходится держать зонтикъ также отвѣсно, но какъ только начнемъ двигаться, то сейчасъ придется наклонить зонтикъ впередъ и тѣмъ болѣе, чѣмъ скорѣе передвиженіе.

Нѣчто аналогичное происходитъ и въ явленіи аберраціи.

Если бы земля была неподвижна, то мы видѣли бы звѣзды по тѣмъ направленіямъ, <u>по которымъ доходитъ къ намъ свѣтъ;</u> но вслѣдствіе собственнаго движенія земли лучи кажутся идущими къ намъ навстрѣчу, и мы усматриваемъ звѣзду не на ея истинномъ мѣстѣ, а нѣсколько уклонившеюся впередъ по направленію нашего движенія.

Пусть наблюдатель находится въ точкѣ А (черт.55) и земля движется по направленію отъ А къ В ; АЕ пусть будетъ направленіе, по которому доходитъ лучъ отъ звѣзды Е Если бы земля не перемѣняла своего положенія, то для того, чтобы увидѣть звѣзду Е, пришлось бы направить оптическую ось зрительной трубы по этому направленію АЕ. Если же мѣсто движется, то явленіе произойдетъ иначе. Такъ какъ скорость свѣта не безконечно велика въ сравненіи со скоростью передвиженія точки А , то свѣтъ долженъ потратить нѣкоторый, хотя и весьма малый промежутокъ времени, чтобы пройти отъ объектива С до окуляра А ; за этотъ промежутокъ времени земля успѣетъ перейти изъ А въ В, и окуляръ трубы будетъ находиться въ точкѣ В , между тѣмъ, какъ лучъ свѣта, упавшій на объективъ С, дойдя до точки А, не найдетъ тамъ окуляра, который будетъ въ точкѣ В, и вслѣдствіе этого наблюдатель



черт 55.

звѣзды не увидитъ.

Чтобы лучи постоянно шли по оптической оси трубы, надо, очевидно, наклонить ось трубы въ сторону движенія земли такъ, чтобы, когда лучъ свѣта, пройдя отъ C до A достигнетъ точки A, здѣсь же въ A находился и окуляръ, то-есть надо дать трубѣ направленіе CF, параллельное діагонали параллелограмма ACDB. Только въ такомъ случаѣ при движеніи трубы вмѣстѣ съ наблюдателемъ лучъ свѣта, проходя отъ C до A, будетъ совпадать съ осью трубы, но вмѣстѣ съ тѣмъ мы увидимъ звѣзду не на истинномъ ея положеніи, а по направленію AD, составляющему съ истиннымъ направленіемъ нѣкоторый уголъ, который и называется <u>аберраціей</u>.

Постараемся теперь вычислить величину угла, на которую отклоняется кажущееся направленіе луча отъ истиннаго его положенія, то-есть величину аберраціи

Пусть скорость движенія земли выражается отрѣзкомъ $AB = v$; скорость свѣта отрѣзкомъ $BD = V$. Назовемъ искомый уголъ отклоненія ADB черезъ α, а уголъ, составленный видимымъ направленіемъ на звѣзду съ направленіемъ движенія земли, черезъ Θ.

Тогда изъ треугольника ADB имѣемъ:

$$\frac{v}{V} = \frac{\sin\alpha}{\sin\Theta} \text{ и } \sin\alpha = \frac{v}{V}\sin\Theta$$

Когда $\Theta = 0°$ или $180°$, то-есть, если звѣзда лежитъ по направленію движенія земли, то $\alpha = 0$, то-есть видимъ звѣзду въ ея дѣйствительномъ положеніи.

Если же $\Theta = 90°$, то $\sin\alpha = \frac{v}{V}$ то-есть α достигаетъ наибольшей величины; обозначимъ для этого случая

уголъ отклоненія черезъ α_0

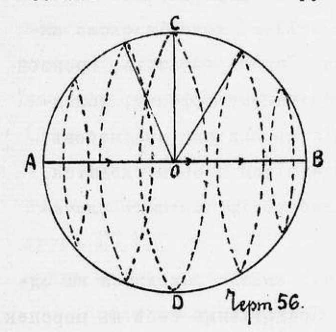
Такъ какъ $\frac{v}{V} = \frac{1}{10000}$, то $\sin\alpha_0 = \frac{1}{10000}$ или $\alpha_0 = 20''{,}5$

Такимъ образомъ: $\sin\alpha = \sin 20''{,}5 \cdot \sin\Theta$, или, вслѣдствіе малости угловъ,

$$\alpha = 20''{,}5 \sin\Theta$$

Это основная формула аберраціи; величина $20''5$, называется <u>постоянной аберраціи.</u>

Разсмотримъ, какъ измѣнится видъ всего неба въ зависимости отъ явленія аберраціи. Пусть мы находимся въ нѣкоторой точкѣ земной орбиты и имѣемъ движеніе въ данный моментъ по направленію касательной къ орбитѣ; обозначая это направленіе прямой AB (черт.56), замѣтимъ, что эта прямая пересѣкаетъ небесную сферу въ двухъ точкахъ.



Черт 56.

Та точка, къ которой земля движется, называется <u>апексомъ.</u> а та, откуда земля движется, называется <u>антиапексомъ</u> Звѣзды, для которыхъ $\Theta = 0°$, будутъ лежать въ апексѣ, въ антиапексѣ же звѣзды, для которыхъ $\Theta = 180^0$

Звѣзды же, для которыхъ $\Theta = 90^0$, лежатъ въ плоскости CD, проходящей черезъ землю перпендикулярно къ направленію ея движенія; для нихъ аберрація будетъ наибольшая = $20''{,}5$.

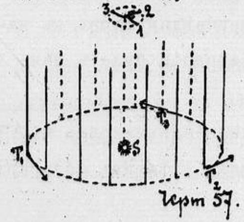
Проведя параллельные круги, перпендикулярные къ AB, получимъ геометрическія мѣста звѣздъ, имѣющихъ аберрацію

одинаковой величины. Для звѣздъ на большомъ кругѣ CD аберрація будетъ имѣть *maximum*, для звѣздъ, находящихся въ точкахъ A и B, *minimum*, и, наконецъ, для звѣздъ, находящихся въ промежуточныхъ положеніяхъ между большимъ кругомъ CD и точками A и B, аберрація будетъ имѣть величину промежуточную.

Вслѣдствіе этого всѣ звѣзды перемѣстятся по направленію движенія земли отъ ихъ истинныхъ положеній: всѣ звѣзды, лежащія около апекса, будутъ представляться намъ нѣсколько скученными, а звѣзды, лежащія около антиапекса, будутъ разступаться. Такомъ образомъ, произойдетъ явленіе, обратное перспективному эффекту, вслѣдствіе котораго при приближеніи къ системѣ предметовъ послѣдніе разступаются, а оставшіеся позади сходятся.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію частныхъ случаевъ аберраціи.

Допустимъ, во-первыхъ, что звѣзда находится въ одномъ изъ полюсовъ эклиптики. Представимъ себѣ въ перспективѣ орбиту земли (черт.57) и допустимъ, что звѣзда находится такъ далеко, что лучи зрѣнія, идущіе отъ нея къ различнымъ положеніямъ земли T_1, T_2 .... на орбитѣ, будутъ между собою параллельны; (это допущеніе мы можемъ сдѣлать въ виду ничтожной величины діаметра орбиты въ сравненіи съ удаленностью звѣзды); такимъ образомъ мы отдѣлимъ явленіе параллакса и разсмотримъ аберрацію въ чистомъ видѣ. Такъ какъ лучи зрѣнія, идущіе отъ звѣ-

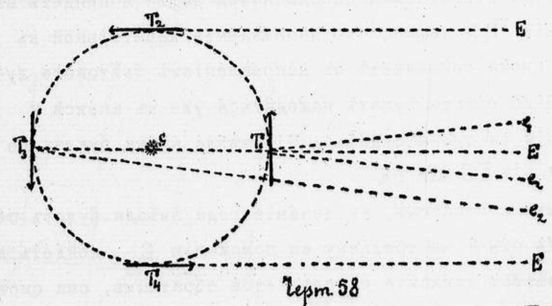


Черт 57.

зды, будутъ всегда составлять прямые углы съ направленіемъ движенія наблюдателя, то аберрація будетъ имѣть одну и ту же величину = 20",5; линіи, соединяющія кажущіяся положенія звѣзды съ истиннымъ, будутъ равны между собою и такъ какъ всѣ они будутъ исходить изъ точки E то кривая, которую опишетъ звѣзда подъ вліяніемъ аберраціи, будетъ малый кругъ радіуса = 20"5. Кажущееся положеніе звѣзды будетъ всегда лежать въ плоскости, опредѣляемой направленіемъ движенія земли и истиннымъ положеніемъ луча свѣта. Въ теченіе года, въ то время, какъ земля будетъ двигаться отъ T_1 черезъ T_2, T_3,.. до T_1, звѣзда будетъ имѣть кажущееся движеніе отъ (1) черезъ (2) (3) до (1).

Допустимъ теперь, что звѣзда E находится въ плоскости эклиптики, совпадающей съ плоскостью чертежа; пусть кругъ $T_1T_2T_3T_4$ (черт.58) изображаетъ путь земли; разсмотримъ четыре положенія земли T_1, T_2, T_3 и T_4 на земной орбитѣ.

Когда земля находится въ точкѣ T_1, величина абер-



Черт.58

аціи будетъ наибольшая, такъ какъ лучъ свѣта T_1E перпен-

дикуляренъ къ направленію движенія земли, выражаемому касательной линіей въ точкѣ T_1; звѣзда уклонится отъ полож. T_1E въ нѣкоторую точку e_1, такъ что $\angle ET_1e_1 = 20'',5$.

Когда земля перейдетъ въ точку T_2, такъ, что направленіе ея движенія будетъ совпадать съ лучомъ зрѣнія $T_2E \parallel T_1E$, то на основаніи раньше выведеннаго заключаемъ, что аберрація $= 0$; звѣзда будетъ лежать въ антиапексѣ и видна будетъ въ точкѣ E по направленію T_2E, или что все равно, по направленію T_1E.

Когда земля перейдетъ въ T_3, то величина аберраціи вслѣдствіе перпендикулярности луча зрѣнія къ направленію движенія земли будетъ опять наибольшая, но звѣзда отклонится уже въ другую сторону, такъ какъ апексъ въ T_3 будетъ въ совершенно противоположномъ направленіи апексу въ T_1. Звѣзда видна будетъ по направленію T_3e_2 или что тоже, по направленію T_1e_2 въ точкѣ e_2, при чемъ $\angle ET_1e_2 = 20'',5$.

Послѣ этого земля передвинется далѣе и придетъ въ положеніе T_4, такое, что направленіе касательной къ орбитѣ снова совпадаетъ съ направленіемъ свѣтового луча, только звѣзда будетъ находиться уже въ апексѣ и аберрація ея снова будетъ $= 0$; звѣзда видна будетъ по направленію T_4E или T_1E.

Такимъ образомъ, въ теченіе года звѣзда будетъ переходить отъ e_1 къ среднему ея положенію E, дойдетъ до e_2; затѣмъ движеніе ея сдѣлается обратнымъ, она снова пройдетъ черезъ E и достигнетъ e_1; въ слѣдующій годъ

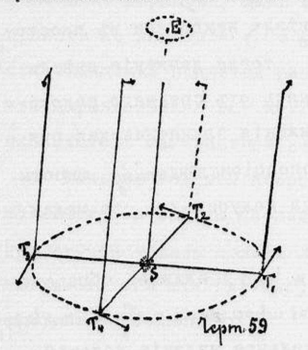
движеніе повторится въ томъ же порядкѣ. Видимое положеніе звѣзды перемѣщается въ плоскости эклиптики по прямой линіи на $20'',5$ въ обѣ стороны.

Разсмотримъ теперь случай, когда звѣзда находится гдѣ-нибудь въ небесномъ пространствѣ между полюсомъ и эклиптикой и отстоитъ такъ далеко, что лучи, идущіе отъ нея, можно считать параллельными въ различныхъ точкахъ земной орбиты, изображаемой въ перспективѣ на черт. 59.

Касательныя, проведенныя въ различныхъ точкахъ положенія земли къ орбитѣ и выражающія направленіе движенія земли, будутъ составлять различные углы съ лучами зрѣнія, идущими къ звѣздѣ.

Очевидно, чѣмъ больше будетъ уголъ, тѣмъ болѣе будетъ и аберраціонное отклоненіе звѣзды отъ ея истиннаго положенія въ E

Если черезъ ES проведемъ плоскость, перпендикулярную къ эклиптикѣ, то сѣченіе этихъ двухъ плоскостей опредѣлитъ положеніе линіи T_1T_3; ясно, что въ точкахъ T_1 и T_3 направленія движенія земли будутъ перпендикулярны къ плоскости ET_1T_3, слѣдовательно, и ко всякой линіи, лежащей въ этой плоскости, такъ что лучи зрѣнія T_1E и T_3E будутъ перпендикулярны къ направленію движенія, а поэтому въ этихъ точкахъ аберрація звѣзды



Черт. 59

будетъ наибольшая, при чемъ отклоненія будутъ прямо-противоположны. При дальнѣйшемъ движеніи уголъ между лучомъ зрѣнія и направленіемъ движенія будетъ уменьшаться, слѣдовательно и аберрація будетъ уменьшаться.

Наименьшее отклоненіе звѣзды произойдетъ тогда, когда земля будетъ въ точкахъ T_2 и T_4, получающихся отъ пересѣченія земной орбиты плоскостью, перпендикулярною къ плоскости ET_1T_3 и проходящей черезъ SE; въ этихъ точкахъ аберрація $= 20'',5 \sin\beta$ гдѣ β широта свѣтила.

Такимъ образомъ, если выписать для каждаго положенія звѣзды ея отклоненіе отъ истиннаго положенія, то получится эллипсъ, большая полуось котораго $= 20'',5$, а меньшая $= 20'',5 \sin\beta$

Резюме. Движеніе звѣзды вслѣдствіе аберраціи можетъ происходить по линіямъ трехъ родовъ: I) когда звѣзда находится въ одномъ изъ полюсовъ эклиптики, - то-есть $\beta = 90^\circ$, то движеніе происходитъ по кругу радіуса $r = 20'',5$; 2) когда широта звѣзды удовлетворяетъ неравенству: $0^\circ < \beta < 90^\circ$, то линія движенія звѣзды будетъ эллипсъ, и 3) когда звѣзда находится въ плоскости эклиптики, то-есть $\beta = 0^\circ$, тогда движеніе звѣзды совершается по прямой, уклоняясь отъ средняго положенія на $20'',5$. Общая форма движенія эллиптическая, при чемъ малая полуось всегда пропорціональна sinus'у широты звѣзды, такъ что, если большая полуось a, то малая полуось $b = a \sin\beta$.

Когда $\beta = 0^\circ$, то $\sin\beta = 0$ и $b = 0$; эллипсъ обращается въ прямую; когда $\beta = 90^\circ$, то $\sin\beta = 1$ и $b = a$; эллипсъ обращается въ кругъ.

Такъ совершается замѣчательное явленіе годовой

аберраціи, служащей однимъ изъ лучшихъ доказательствъ теоріи Коперника.

13. АБЕРРАЦІЯ СУТОЧНАЯ И СОЛНЕЧНАЯ.

Если годовая аберрація звѣздъ происходитъ вслѣдствіе того, что скорость движенія земли не безконечно мала въ сравненіи со скоростью свѣта, то одинаковымъ образомъ и та скорость, съ которою земля вращается вокругъ своей оси, является также сравнимой со скоростью свѣтового луча, и потому должна существовать еще извѣстнаго рода аберрація суточная, происходящая отъ совокупнаго дѣйствія скорости свѣта и вращенія земли около оси. Однако надо замѣтить, что суточная аберрація гораздо меньше годовой аберраціи - вслѣдствіе того, что линейная скорость движенія точекъ на земной поверхности при суточномъ вращеніи земли гораздо менѣе скорости годового ея обращенія.

Суточная аберрація объясняется отъ слова до слова такимъ же образомъ, какъ аберрація годовая, только нужно принять во вниманіе то обстоятельство, что вмѣсто плоскости эклиптики придется разсматривать плоскость экватора или параллельнаго ему круга, смотря по тому, находится ли наблюдатель на экваторѣ или на нѣкоторой широтѣ.

Какъ въ годовой аберраціи, такъ и здѣсь, относительно положенія звѣзды на небесной сферѣ могутъ быть различены три случая звѣзда можетъ лежать на полюсахъ экватора, въ плоскости его или гдѣ-нибудь въ другомъ мѣстѣ между экваторомъ и полюсами,

Отсюда слѣдуетъ, что значеніе, которое въ годовой аберраціи имѣетъ широта свѣтила, въ суточной - принадлежитъ ея склоненію.

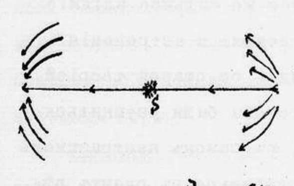
Для наблюдателя, находящагося на экваторѣ, движеніе звѣзды, лежащей въ одномъ изъ полюсовъ, будетъ происходить по кругу, движеніе звѣзды, лежащей въ плоскости экватора, по прямой, и лежащей въ нѣкоторомъ среднемъ положеніи-по эллипсу, при чемъ, если большая полуось эллипса будетъ k, то меньшая ея полуось будетъ $k \sin\delta$. Постоянная суточной аберраціи будетъ всего $0''{,}3$.

Для наблюдателя же, находящагося на какой-нибудь широтѣ φ', скорость вращенія будетъ меньше, слѣдовательно и аберраціонное движеніе будетъ меньше, а именно, какъ легко сообразить, будетъ пропорціонально $\cos\varphi$ такъ какъ радіусъ малаго круга $= R\cos\varphi$, гдѣ R радіусъ земли, линейная же скорость вращенія пропорціональна радіусу, такъ что коэффиціентъ или постоянная аберраціоннаго колебанія будетъ $0''{,}3\cos\varphi$.

Кромѣ годовой и суточной аберраціи звѣздъ существуетъ еще такъ называемая солнечная аберрація звѣздъ, происходящая оттого, что вся наша солнечная система переносится въ пространствѣ. Какимъ образомъ движется солнце, по кривой или по прямой линіи, на этотъ вопросъ отвѣтить трудно; нужно замѣтить лишь, что даже въ случаѣ криволинейнаго пути солнца движеніе его можно считать прямолинейнымъ, такъ какъ радіусъ кривой, которую описываетъ солнце, долженъ быть очень великъ.

Итакъ, представляя движеніе солнца прямолинейнымъ,

можемъ принять линію этого движенія какъ бы за нѣкоторую ось небесной сферы; можно представить себѣ, что черезъ точки пересѣченія этой оси со сферою проведены безчисленные меридіаны; въ плоскостяхъ этихъ меридіановъ будетъ происходить отклоненіе звѣздъ отъ ихъ истиннаго положенія, и такъ какъ уголъ,



Черт. 60.

составляемый лучомъ свѣта и направленіемъ движенія солнца, для одной и той же звѣзды будетъ сохранять всегда одну и ту же величину вслѣдствіе громадныхъ разстояній отъ солнца до звѣзды, то аберрація звѣздъ въ этомъ случаѣ будетъ постоянная, звѣзды не будутъ измѣнять своего первоначальнаго, уже измѣненнаго положенія, и поэтому движенія ихъ, вслѣдствіе солнечной аберраціи не будетъ; вслѣдствіе этого величина солнечной аберраціи не можетъ быть опредѣлена, если неизвѣстна скорость солнца въ пространствѣ, только звѣзды кажутся въ ложныхъ, но уже неизмѣнныхъ мѣстахъ - онѣ скучены около апекса и нѣсколько разступаются въ сторонѣ антиапекса.

14. ОТКРЫТІЯ ГАЛИЛЕЯ.

Система Коперника объясняла проще небесный движенія, чѣмъ прежнія системы, но одного этого факта было недостаточно, чтобы побудить астрономовъ принять ее, потому

что большая часть тѣхъ же явленій могла быть объяснена съ нѣкоторой вѣроятностью и по старой системѣ. Философія Аристотеля оказывала такое же сильное вліяніе въ теченіе столѣтій, какое производила и астрономія Птоломея. Ученые настолько свыклись со старой теоріей и считали ее непогрѣшимой, что готовы были усумниться въ самыхъ убѣдительныхъ опытахъ, въ самомъ неотразимомъ свидѣтельствѣ чувствъ, чѣмъ поколебаться въ своихъ вѣрованіяхъ и авторитетѣ своего уважаемаго учителя.

Для разрушенія системы, столь глубоко вкоренившейся въ умы того времени, требовался человѣкъ, обладающій смѣлымъ и проницательнымъ умомъ, проникнутый любовью къ истинѣ, логичный въ доводахъ и непоколебимый въ испытаніяхъ.

Таковъ былъ флорентійскій философъ Галилео Галилей. При помощи изобрѣтеннаго имъ телескопа Галилей далъ новыя доказательства истинности Коперниковой системы, и доказательства эти оказались несравненно убѣдительнѣе всѣхъ тѣхъ доводовъ, какіе самъ Коперникъ былъ въ состояніи завѣщать потомству.

Галилей случайно узналъ, что голландецъ Джансенъ изобрѣлъ инструментъ, обладавшій свойствомъ ясно представлять отдаленные предметы. Онъ тотчасъ же понялъ всю цѣну этого орудія при атрономическихъ изслѣдованіяхъ и самъ принялся за его устройство.

Послѣ невѣроятныхъ трудовъ онъ наконецъ успѣлъ устроить телескопъ, который увеличивалъ силу глаза въ тридцать слишкомъ разъ; при помощи его Галилей и произвелъ свои замѣчательныя открытія.

Онъ направилъ телескопъ на луну и увидѣлъ здѣсь все ясно обозначившееся разнообразіе ея поверхности: глубокія впадины, высокія горы, обширныя долины; по длинѣ отбрасываемой лунными горами тѣни онъ вычислилъ высоты нѣкоторыхъ горъ.

Планеты, которыя невооруженному глазу представляются не иначе, какъ ярко блестящими точками, разсматриваемыя въ телескопъ, представились въ видѣ круглыхъ, ясныхъ и рѣзко очерченныхъ дисковъ.

Послѣдователи Птоломея говорили, что если бы какая нибудь планета обращалась около солнца, то она необходимо должна имѣть такія же фазы, какія имѣетъ луна, но такъ какъ подобныя перемѣны не были видимы невооруженнымъ глазомъ, то возраженіе это сохраняло свою силу, и противъ него нельзя было представить никакихъ доводовъ. Но лишь только Галилей направилъ телескопъ на Венеру, онъ увидѣлъ миніатюрное изображеніе новой луны и ея фазы, задолго предсказанныя Коперникомъ и принятыя имъ и его послѣдователями на вѣру, теперь же ставшія очевидными. Это открытіе привело въ восторгъ Галилея, такъ какъ въ немъ онъ видѣлъ доказательство системы Коперника.

8 января 1610 года телескопъ былъ впервые направленъ на планету Юпитеръ; близъ самой планеты Галилей замѣтилъ три блестящія звѣздочки, невидимыя для невооруженнаго глаза. Онъ тщательно замѣтилъ положеніе планеты относительно этихъ, какъ онъ думалъ, неподвижныхъ звѣздъ

и которыми онъ интересовался потому только, что по нимъ могъ судить объ измѣненіи положенія Юпитера. Въ слѣдующую ночь три блестящія звѣздочки, замѣченныя наканунѣ, попрежнему находились въ полѣ его телескопѣ, но относительное положеніе ихъ другъ къ другу совершенно измѣнилось, и причиной этого не могло быть движеніе Юпитера по своей орбитѣ. Нѣсколько послѣдующихъ наблюденій окончательно убѣдили Галилея въ томъ, что эти блестящія звѣздочки были луны, обращающіяся вокругъ большой планеты, какъ вокругъ центра своего движенія; вскорѣ былъ найденъ и четвертый спутникъ, и тогда это открытіе было обнародовано. Галилей назвалъ спутниковъ Юпитера звѣздами Медичи въ честь своего покровителя Козьмы II Медичи, но впослѣдствіи это названіе было оставлено, и теперь они прямо называются первымъ, вторымъ и т.д. спутниками Юпитера.

Защитники Коперниковой системы съ радостью привѣтствовали открытіе спутниковъ Юпитера, открытіе, приведшее въ большой восторгъ самого Галилея, такъ какъ онъ видѣлъ въ системѣ Юпитера и его спутниковъ въ миніатюрѣ солнечную систему, и только закоснѣлые послѣдователи Птоломея проповѣдывали совершенную нелѣпость такого мнимаго, по ихъ словамъ, открытія. Въ доказательство своего мнѣнія они приводили слѣдующіе "неотразимые" доводы: въ недѣлѣ 7 дней, существуетъ семь геометрическихъ фигуръ, въ головѣ человѣка или микрокосмѣ насчитывается только семь отверстій для соединенія съ внѣшнимъ міромъ - макрокосмомъ, поэтому и планетъ не

можетъ быть болѣе семи. Ученые профессора университетовъ совершенно отвергали открытія Галилея и ни одинъ изъ нихъ по приглашенію Галилея - посмотрѣть въ телескопъ и убѣдиться въ существованіи спутниковъ Юпитера - не рѣшался сдѣлать это.

"Вѣроятно", говорилъ Галилей, "души ихъ полетятъ въ царствіе небесное мимо Юпитера и тогда увидятъ его спутниковъ".

Когда телескопъ былъ направленъ на солнце, послѣднее раскрыло свои пятна. Извѣстіе объ этомъ открытіи вызвало бурю негодованія у противниковъ, такъ какъ солнце считалось символомъ чистоты и красоты.

Въ дѣйствительности, пятна на солнцѣ нѣсколькими днями раньше Галилея открылъ патеръ Шейнеръ, но онъ не считалъ ихъ принадлежащими солнечной поверхности, а происхожденіе ихъ объяснялъ тѣмъ обстоятельствомъ, что малыя планеты, вращаясь вокругъ солнца ближе Меркурія, проектируются на солнечномъ дискѣ. Галилей показалъ несостоятельность этого объясненія, такъ какъ Венера, проходя передъ солнцемъ, проектируется на послѣднемъ въ теченіе приблизительно 10 часовъ, Меркурій - въ теченіе 3 часовъ, слѣдовательно, планеты, находящіяся ближе Меркурія къ солнцу, должны проектироваться въ теченіе меньшаго промежутка времени, чѣмъ Меркурій, то-есть меньше 3 часовъ, между тѣмъ пятно бываетъ видимо иногда въ теченіе 13 дней. Галилей вѣрно приписывалъ пятна самой солнечной поверхности и на основаніи ихъ перемѣщенія вывелъ періодъ вращенія солнце вокругъ своей оси, поэтому по

справедливости честь открытія солнечныхъ пятенъ принадлежитъ Галилею.

Млечный путь, который кажется представляющимъ собой одно непрерывное сіяніе, оказался собраніемъ мельчайшихъ звѣздъ, скученныхъ одна около другой.

Открывъ спутниковъ Юпитера, Галилей составилъ таблицы ихъ движеній; таблицы эти дали возможность опредѣлить долготу даннаго мѣста, находясь въ открытомъ морѣ. Вопросъ этотъ составлялъ одну изъ самыхъ важныхъ тогдашнихъ научныхъ задачъ, и рѣшеніемъ его интересовались всѣ морскія державы. Впрочемъ, открытіе это составляло тайну и не было обнародовано; впослѣдствіи рукописи, содержащія таблицы движеній спутниковъ Юпитера, не были найдены въ бумагахъ великаго ученаго; онѣ отыскались только въ 46-мъ году прошлаго столѣтія.

Изслѣдованія Галилея въ области механики ознаменовались также очень важными открытіями. Аристотель, изслѣдуя законы паденія тѣлъ, нашелъ, что скорость, пріобрѣтенная какимъ-нибудь падающимъ тѣломъ, прямопропорціональна его вѣсу. Галилей понялъ, насколько это ученіе далеко отъ дѣйствительности; онъ высказалъ новый законъ паденія тѣлъ, а именно, что всѣ тѣла падаютъ въ пустотѣ съ одинаковой скоростью и пространства, проходимыя ими, пропорціональны квадратамъ временъ.

Наконецъ, имъ же открытъ столь извѣстный въ механикѣ законъ параллелограмма силъ, который и до сихъ поръ формулируется такъ же, какъ онъ былъ выраженъ самимъ Галилеемъ.

Галилей родился 15-го февраля 1564 года. Отецъ его - Винченцо Галилей былъ человѣкъ образованный и постарался дать своему сыну возможно лучшее по тогдашнему времени образованіе, которое было закончено въ Пизанскомъ и Падуанскомъ университетахъ. Впослѣдствіи Галилей былъ приглашенъ въ Пизу занять кафедру математики. Въ то время каждый профессоръ долженъ былъ дать присягу, что будетъ слѣдовать ученію Аристотеля и Птоломея. Галилей также далъ эту присягу, но, открывъ нелѣпыя заблужденія Аристотеля, сталъ осмѣивать его ученіе и особенно горячо опровергалъ его ученіе о свободно падающихъ тѣлахъ. Сначала онъ принялъ и преподавалъ Птоломееву систему; когда одинъ изъ учениковъ Коперника пріѣхалъ въ городъ, въ которомъ жилъ Галилей, и излагалъ въ публичныхъ лекціяхъ ученіе своего наставника, то Галилей смотрѣлъ на этотъ предметъ, какъ на сумасбродство, и не присутствовалъ при чтеніяхъ. Впослѣдствіи однако, познакомившись ближе съ новымъ ученіемъ, онъ понялъ его несомнѣнную истину и - сталъ однимъ изъ его ревностныхъ поборниковъ.

Нападки на ученія Аристотеля и Птоломея создали ему массу враговъ, и хотя опытъ надъ паденіемъ тѣлъ, произведенный имъ публично съ Пизанской башни, блестяще подтвердилъ справедливость мнѣнія Галилея - три шара, деревянный, металлическій и изъ слоновой кости, пущенные съ вершины башни, одновременно ударились о землю - тѣмъ не менѣе Галилей долженъ былъ покинуть Пизу. Вскорѣ однако онъ получилъ мѣсто профессора въ Падуанскомъ университетѣ

СПБ. УНИВЕРСИТЕТЯ. ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, Б. ГРЕБЕЦКАЯ 49-6 СПБ.

гдѣ и оставался до 1610г.

Къ этому времени относится большинство его открытій.

Между тѣмъ противъ Галилея собиралась гроза. Римская церковь была встревожена новымъ ученіемъ о движеніяхъ земли, которое было противно догматамъ церкви. Галилей, видя все волненіе, произведенное его открытіями и ученіемъ, счелъ нужнымъ явиться въ Римъ и стать лицомъ къ лицу со своими врагами; онъ имѣлъ милостивую аудіенцію у папы Павла У, который принялъ его весьма благосклонно и обѣщалъ не вѣрить всѣмъ клеветамъ, возводимымъ на Галилея.

Спустя нѣсколько лѣтъ, онъ снова ѣздилъ въ Римъ для поздравленія новаго папы Урбана УIII и снисканія его благосклонности. Но все это не спасло Галилея отъ того униженія, которое готовила ему судьба, ему, уже семидесятилѣтнему старцу.

Въ 1630 году Галилей окончилъ большое сочиненіе: "Разговоръ о системахъ міра Птоломея и Коперника", надъ которымъ онъ долго трудился. Въ этомъ сочиненіи Симплицій, послѣдователь Птоломея, споритъ съ двумя сторонниками Коперника о преимуществахъ и недостаткахъ обѣихъ системъ, при чемъ побѣда, съ формальной точки зрѣнія, остается за первымъ, но каждый вдумчивый читатель видитъ, на чьей сторонѣ истина. Рукопись эта была разсмотрѣна самимъ папой и инквизиторами. Не имѣя столько свѣдѣній, чтобы открыть истинную цѣль сочинителя, они разрѣшили напечатать его книгу

съ предисловіемъ доминиканца Риччи.

Когда книга эта вышла въ свѣтъ, враги Галилея нашли средство встревожить Римскій дворъ - они увѣрили, что подъ видомъ Симплиція выведенъ самъ папа, и Галилей былъ призванъ на судъ инквизиціи.

Черезъ четыре мѣсяца по прибытіи въ Римъ онъ предсталъ передъ лицо верховнаго судилища. Тамъ онъ оставался въ теченіе цѣлаго дня, а на слѣдующій день въ одеждѣ кающихся, былъ препровожденъ въ монастырь Минервы, куда собрались кардиналы и прелаты, чтобы произнести надъ нимъ свой приговоръ, въ силу котораго Галилей, стоя на колѣняхъ, долженъ былъ торжественно отречься, отъ всѣхъ своихъ "заблужденій и ересей" и предать ихъ проклятію. Изъ судилища Галилей былъ отведенъ въ темницу, гдѣ онъ долженъ былъ быть заточенъ на всю жизнь.

Впослѣдствіи приговоръ надъ нимъ былъ смягченъ и ему позволили возвратиться во Флоренцію; онъ ослѣпъ и здоровье его расшаталось окончательно. Онъ скончался въ 1842 году.

15. ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА.

Гипотеза Коперника, во многомъ уясняя систему планетъ и ихъ движенія, тѣмъ не менѣе была только догадкой, а не очевидной для всѣхъ истиной.

Когда дѣйствительный центръ движеній былъ найденъ, оставалось опредѣлить ему тѣ кривыя линіи, по которымъ обращаются планеты, законы, управляющіе ихъ движеніемъ

и, наконецъ свойство той связи, которая соединяетъ планетные міры въ одну солнечную систему.

Рѣшеніемъ этихъ серьезныхъ вопросовъ наука обязана Кеплеру, который по справедливости названъ "законодателемъ неба". Этотъ ученый соединялъ въ себѣ всѣ способности великаго изслѣдователя: горячій, восторженный и проницательный, онъ шелъ къ достиженію разъ намѣченной цѣли съ неутомимой настойчивостью, вполнѣ сознавая всю трудность изслѣдованій, на которыя рѣшился.

Допустивъ, какъ гипотезу, центральное положеніе солнца и обращеніе планетъ около этого центра, онъ задался цѣлью открыть истинныя свойства планетныхъ орбитъ и найти, если возможно, такую кривую линію, которая вполнѣ объясняла бы движенія небесныхъ тѣлъ.

Для успѣшнаго выполненія такого труднаго предпріятія Кеплеръ сосредоточилъ всѣ усилія своего изслѣдованія на одной планетѣ, выбравъ для этой цѣли Марсъ вслѣдствіе того, что имѣлъ подъ руками обширный трудъ наблюденій Тихона Браге надъ этой планетой.

Кеплеръ началъ со строгаго сравненія планетныхъ положеній, опредѣленныхъ изъ наблюденій, съ положеніями, полученными по самымъ лучшимъ таблицамъ круговой теоріи. Методъ, котораго держался Кеплеръ при своихъ изслѣдованіяхъ, совершенно не походилъ на тотъ, которымъ пользовались предшествующіе астрономы. Послѣдніе, собственно говоря, не "изслѣдовали" вопросъ, а для объясненія его допускали, какъ истину, извѣстное положе-

ніе, и затѣмъ уже старались только обработать его количественную сторону, считая качественную сторону безусловно вѣрной. Напримѣръ, ими было допущено какъ необходимое условіе существованіе кругового и равномѣрнаго движенія, и затѣмъ, всѣ усилія науки того времени были направлены лишь на то, чтобы подобрать какъ можно лучше величины радіусовъ эпицикловъ и деферентовъ. Изъ этого видно, что изслѣдованія древнихъ были синтетическаго характера.

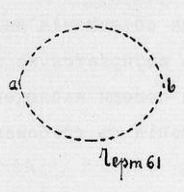
Кеплеръ первый открылъ и примѣнилъ методъ аналитическій, который состоитъ въ томъ, что для объясненія явленій выбирается извѣстное положеніе, но выбирается не какъ аксіома, а какъ гипотеза, и затѣмъ при помощи наблюденій сравниваются условія существующаго явленія съ требованіями теоріи.

Если при этомъ сравненіи теорія согласуется съ дѣйствительностью, то данная гипотеза признается истинной и переходитъ въ "законъ", а если такого согласія нѣтъ, то предложенная гипотеза отвергается, вмѣсто нея берутъ другую и анализируютъ такъ же, какъ и первую. Такая замѣна одной гипотезы другой происходитъ до тѣхъ поръ, пока не находится истинная.

Кеплеръ трудился въ продолженіе восьми лѣтъ, провѣряя одну круговую гипотезу за другой, пока не было провѣрено девятнадцать гипотезъ, и всѣ онѣ были отвергнуты. Всѣ предположенія, какія только могла представить ему его пылкая фантазія, были исчерпаны и найдены крайне неудовлетворительными. Поэтому онъ смѣло объявилъ, что никакою круговой гипотезой невозможно объяснить всѣ явленія пла-

нетныхъ движеній.

Затѣмъ Кеплеръ рѣшился непосредственно нарисовать эту кривую, которую описываетъ Марсъ около солнца. Онъ опредѣлялъ для каждаго наблюденія разстояніе планеты до солнца и затѣмъ откладывалъ пропорціонально на чертежѣ полученныя разстоянія отъ точки, принятой за солнце. Такимъ образомъ, у него получился овалъ, который не былъ составленъ двумя дугами круговъ изъ двухъ центровъ (черт.61), какъ сначала думалъ Кеплеръ, потому что въ этомъ овалѣ онъ не встрѣтилъ угловатостей a и b, которыя необходимо должны были бы существовать при пересѣченіи двухъ круговыхъ дугъ. Напротивъ того, полученный овалъ болѣе всего напоминалъ собою эллипсъ. На этой-то кривой и остановилось вниманіе Кеплера.



Черт 61

Подобно тому, какъ въ круговой гипотезѣ солнце помѣщалось въ центрѣ, такъ, приступая къ эллиптической гипотезѣ, Кеплеръ сначала помѣстилъ солнце въ середину большой оси и сталъ слѣдить за движеніемъ планеты по такой орбитѣ, но оно оказалось удовлетворительнымъ только на короткомъ разстояніи: далѣе наблюдалось отклоненіе.

Затѣмъ Кеплеръ перенесъ солнце въ одинъ изъ фокусовъ эллипса и началъ снова изслѣдованія надъ движеніемъ планеты; на этотъ разъ уклоненій не замѣчалось: эллиптическая орбита удерживала планету, пока послѣдняя не пришла въ свою исходную точку.

Счастье для Кеплера, что взятая имъ для наблюденій планета была Марсъ, у орбиты котораго наибольшій эллиптическій эксцентриситетъ, почему всѣ явленія несравненно рельефнѣе, чѣмъ у прочихъ планетъ.

Это обстоятельство было причиной того, что начерченная Кеплеромъ на бумагѣ кривая при помощи пропорціонально отложенныхъ разстояній отъ солнца видимо отличалась отъ круга и напоминала собою эллипсъ.

Найденный эллипсъ - орбита Марса - скоро привелъ Кеплера къ опредѣленію истинной формы орбитъ прочихъ планетъ, а также и орбиты луны. Кеплеръ обнародовалъ свой первый великій законъ въ слѣдующихъ словахъ:

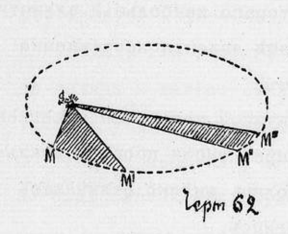
I. <u>Планеты обращаются по эллиптическимъ орбитамъ около солнца, которое занимаетъ общій фокусъ всѣхъ этихъ орбитъ.</u>

Найдя истинную кривую пути движенія планетъ, Кеплеръ обратилъ вниманіе на опредѣленіе свойствъ этого движенія. Допущеніе равномѣрнаго эллиптическаго перемѣщенія планеты по его наблюденіямъ оказалось невѣрнымъ.

Удовлетворительное рѣшеніе этого вопроса было необходимо для того, чтобы сдѣлать первый выводъ Кеплера полезнымъ.

Для открытія этого закона, въ существованіи котораго великій мыслитель не сомнѣвался, начерченъ былъ имъ эллипсъ (черт.62), представлявшій собою орбиту Марса, въ одномъ изъ фокусовъ котораго должно было находиться солнце. На орбитѣ были обозначены мѣста планеты, опре-

дѣленныя изъ наблюденій, и начался рядъ изслѣдованій, приведшій къ открытію второго великаго закона. Если прямой линіей соединить центры солнца и какой-нибудь планеты, то эта линія или такъ называемый радіусъ векторъ, двигаясь вмѣстѣ поступательно съ планетой, опишетъ равныя площади ($MSM' = M''SM'''$) въ равные промежутки времени или иначе:



Черт 62

II. Площади, описываемыя радіусомъ-векторомъ, пропорціональны временамъ.

Кеплеръ понималъ, что солнечная система не есть простое скопленіе свѣтилъ около общаго центра, но что въ ней существуютъ какія-то общія связывающія узы между всѣми планетами взаимно и каждой порознь съ солнцемъ. Эта связь, по мнѣнію Кеплера, находилась въ какомъ нибудь отношеніи между временами обращенія планетъ и разстояніями послѣднихъ отъ солнца. Но не было опредѣленныхъ указаній, на основаніи которыхъ Кеплеръ могъ бы стремиться открыть этотъ законъ, развѣ только то, что отдаленныя планеты имѣютъ большій періодъ обращенія, чѣмъ ближайшія; поэтому онъ и рѣшилъ, что наибольшая вѣроятность склонялась на сторону связи между планетными разстояніями и періодами ихъ обращеній.

Назовемъ среднія разстоянія (большія полуоси эллипса) двухъ планетъ отъ солнца черезъ a и a', а вре-

мена ихъ звѣздныхъ обращеній черезъ T и T'. Допуская, что существуетъ между временами звѣздныхъ обращеній T и T' и средними разстояніями двухъ планетъ a и a' нѣкоторая зависимость, Кеплеръ предполагаетъ, что она можетъ быть выражена формулой:

$$\left(\frac{a}{a'}\right)^{\lambda} = \left(\frac{T}{T'}\right)^{\mu}$$

и ищетъ, какія значенія λ и μ ей удовлетворяютъ.

При сравненіи $\lambda = 1$ съ $\mu = 1, 2, 3 \ldots$ онъ не находитъ согласія; при $\lambda = 2$ тоже самое; при $\lambda = 3$ и $\mu = 2$ онъ первый разъ, по причинѣ случайно сдѣланной ошибки, тоже не находитъ согласія. Провѣривъ впослѣдствіи свои вычисленія, онъ нашелъ ошибку и оказалось, что при $\lambda = 3$ и $\mu = 2$ существуетъ искомое равенство отношеній.

Такимъ образомъ у него получалась формула:

$$\left(\frac{a}{a'}\right)^{3} = \left(\frac{T}{T'}\right)^{2}$$

выражающая третій законъ Кеплера, именно:

III. Кубы среднихъ разстояній планетъ отъ солнца пропорціональны квадратамъ звѣздныхъ ихъ обращеній.

Открытіе этихъ законовъ потребовало со стороны Кеплера труда, чрезвычайно продолжительнаго и сложнаго: Кеплеръ вычислилъ до 200 положеній Марса; каждое вычисленіе помѣщалось на 10 листахъ *in folio* по 4 страницы, что составляло около 100 часовъ работы. Надъ открытіемъ этихъ законовъ Кеплеръ работалъ больше 20 лѣтъ.

Кеплеръ родился въ Германіи, въ Виртембергскомъ герцогствѣ въ 1571 г. отъ бѣдныхъ родителей. Онъ воспи-

тывался въ публичной школѣ въ Тюбингенѣ. Имѣя предубѣжденіе противъ занятій астрономіей вслѣдствіе отвращенія, которое онъ чувствовалъ къ астрологамъ - астрономамъ того времени, Кеплеръ однако принужденъ былъ занять мѣсто преподавателя астрономіи въ Грацѣ по убѣжденію своихъ наставниковъ.

Два года спустя послѣ того, какъ Кеплеръ предался изученію астрономіи, онъ напечаталъ книгу, заглавіе которой "Mysterium cosmographicum" показываетъ, что въ ней содержится объясненіе устройства вселенной. Это сочиненіе наполнено самыми странными умозрѣніями и нелѣпыми гипотезами, изъ которыхъ замѣчательнѣйшая состоитъ въ томъ, что разстоянія планетъ отъ солнца зависятъ отъ отношеній, существующихъ между пятью правильными геометрическими тѣлами. Изъ геометріи извѣстно, что можетъ быть только пять правильныхъ многогранниковъ: тетраедръ, кубъ, октаедръ, додекаедръ и икосаедръ. "Такимъ образомъ", говоритъ онъ, "земля есть кругъ, мѣрило всему; около нея описываю додекаедръ и кругъ, включающій въ себѣ этотъ многогранникъ, будетъ орбитою Марса. Около этой орбиты описываю тетраедръ, и кругъ, включающій въ себѣ этотъ тетраедръ, будетъ орбитою Юпитера. Вокругъ нея описываю кубъ, и кругъ, включающій въ себѣ этотъ кубъ, будетъ орбитою Сатурна. Потомъ вписываю въ землю икосаедръ, и заключенный въ немъ кругъ даетъ орбиту Венеры. Въ эту орбиту вписываю октаедръ, и заключенный въ него кругъ будетъ орбитою Меркурія."

Когда это сочиненіе Кеплера дошло до Тихона Браге,

то послѣдній тотчасъ узналъ въ фантастическомъ изложеніи автора черты великаго астронома, и послалъ Кеплеру приглашеніе пріѣхать къ нему въ Прагу и раздѣлить съ нимъ его труды.

Матеріальныя обстоятельства Кеплера были въ то время до того разстроены, что онъ принужденъ былъ обратиться къ содѣйствію Браге.

Въ 1600 г. Браге представилъ Кеплера императору, при чемъ Кеплеръ получилъ титулъ "императорскаго математика."

Тихонъ Браге былъ вспыльчиваго и властолюбиваго характера, поэтому у нихъ часто происходили разногласія, тяжелыя для обоихъ, такъ какъ и тотъ и другой уважали другъ друга.

Когда Галилей обнародовалъ свои удивительныя открытія, Кеплеръ одинъ изъ первыхъ прислалъ ему свое привѣтствіе, что и послужило къ самой дружеской перепискѣ, завязавшейся между ними.

Продолжительное и прилежное изученіе движенія Марса, какъ извѣстно, было причиной зарожденія въ умѣ Кеплера самыхъ разнообразныхъ гипотезъ, прежде чѣмъ привело къ открытію его великихъ законовъ. Слишкомъ поспѣшныя и часто неосновательныя мечты пылкаго воображенія подвергались многотруднымъ вычисленіямъ, изъ которыхъ нѣкоторыя, несмотря на ихъ обширность, Кеплеръ повторялъ до семидесяти разъ.

Эта причудливость воображенія проглядываетъ у него и въ слогѣ, фигурность котораго чрезвычайно оригинальна.

Вотъ, напримѣръ, какъ онъ говоритъ о своей умственной борьбѣ съ капризной планетой, для которой онъ твердо рѣшился "найти" истинный путь: "Между тѣмъ, какъ я торжествуя такимъ образомъ надъ Марсомъ, приготовлялъ ему, какъ совершенно побѣжденному врагу, табличный плѣнъ, и прилаживалъ эксцентричныя оковы, мнѣ что-то шептало то здѣсь, то тамъ, что побѣда не ведетъ ни къ чему, и что война снова свирѣпствуетъ такъ же жестоко, какъ и прежде. Этотъ коварный врагъ, оставленный въ небѣ презрѣннымъ плѣнникомъ, разорвалъ всѣ цѣпи уравненій и вырвался изъ тюрьмы таблицъ. Поразивъ въ стычкахъ мои войска, составленныя изъ физическихъ причинъ, и свергнувъ съ себя иго, онъ вырвался на свободу. Теперь почти ничего не оставалось, чтобъ воспрепятствовать бѣгущему врагу соединиться съ своими мятежными помощниками, если бы я внезапно не выслалъ въ поле резервы - новыхъ физическихъ доводовъ для пораженія и разсѣянія харбрецовъ, и если бы ревностно не преслѣдовалъ ихъ въ томъ направленіи, въ которомъ врагъ мой прорвался."

Вскорѣ послѣ открытія первыхъ двухъ законовъ, Кеплера постигло горе: онъ лишился любимаго и многообѣщавшаго сына, и затѣмъ своей жены.

Первый бракъ Кеплера былъ несчастливъ и потому, когда время сгладило горе, онъ поручилъ своимъ друзьямъ пріискать ему невѣсту, и скоро получилъ списокъ одиннадцати невѣстъ, между которыми слѣдовало сдѣлать выборъ

Устроивъ семейныя дѣла, Кеплеръ предался, со свойственнымъ ему рвеніемъ атрономическимъ занятіямъ, и

и вскорѣ обнародовалъ знаменитѣйшее изъ своихъ сочиненій "Harmonices mundi libri quinque ".

Въ пятой книгѣ этого труда онъ изложилъ свой третій законъ: „Ничто," говоритъ онъ „не удерживаетъ меня. Я увлеченъ священнымъ восторгомъ! Я восторжествую надъ человѣчествомъ честнымъ сознаніемъ, что похитилъ золотые сосуды Египтянъ, съ цѣлью воздвигнуть скинію для Бога живаго далеко за предѣлами Египта. Если ты простишь мнѣ - возрадуюсь; если прогнѣвишься - я вынесу это. Кости брошены. Книга написана. Прочтутъ ли ее теперь или прочтетъ ее потомство - мнѣ все равно. Она можетъ ждать себѣ читателя цѣлое столѣтіе, ибо и Господь шесть тысячъ лѣтъ ждалъ наблюдателя."

Согласно съ мнѣніемъ, которое Кеплеръ имѣлъ о "музыкѣ сферъ", онъ считалъ Сатурна и Юпитера басами, Марса - тенором, Землю и Венеру - альтами, а Меркурія - дискантомъ.

Матеріальный недостатокъ и горе преслѣдовали Кеплера всю жизнь. Бѣдность, въ которой онъ жилъ, составляетъ разительную противоположность съ тѣми заслугами, которыя онъ совершилъ для науки.

Несмотря на неоднократныя распоряженія императора, выдача пенсіи Кеплеру производилась чрезвычайно небрежно и послѣ очень продолжительныхъ проволочекъ.

По удаленіи Кеплера въ Силезію съ цѣлью провести тамъ остатокъ своихъ дней, нужда окончательно приступила къ престарѣлому астроному и принудила его лично хлопотать о выдачѣ недоплаченныхъ ему суммъ. Для этого въ 1630 г.,

почти на 60-мъ году своей жизни онъ отправился въ Регенсбургъ, но вслѣдствіе истощенія отъ продолжительнаго путешествія верхомъ на лошади получилъ лихорадку, отъ которой и умеръ 15-го Ноября 1630 г.

Такъ какъ имена Коперника, Браге, Галилея и Кеплера тѣсно связаны съ исторіей астрономіи, то посмотримъ, въ какомъ хронологическомъ порядкѣ они стоятъ другъ относительно друга. Коперникъ родился въ 1473 г. Браге - въ 1546; Галилей - въ 1564 г. и Кеплеръ въ - 1571 г. Всѣ эти великіе люди дожили до глубокой старости, такъ что Тихонъ Браге, Галилей и Кеплеръ были въ теченіе многихъ лѣтъ современниками.

16. Законъ всемірнаго тяготѣнія.

Открытые Кеплеромъ три закона планетныхъ движеній должны были имѣть громадное значеніе въ дальнѣйшемъ развитіи астрономіи.

Нѣсколько странная на первый взглядъ форма планетныхъ орбитъ, зависимость скорости движенія отъ разстоянія между планетой и солнцемъ - все это требовало объясненія, и поэтому первый, стоявшій на очереди послѣ открытій Кеплеръ вопросъ заключался въ слѣдующемъ: почему планета движется такъ, а не иначе? что за причина или сила производитъ это движеніе?

Кеплеръ самъ искалъ отвѣта на этотъ вопросъ, но рѣшить во всей полнотѣ задачу онъ былъ не въ состояніи, такъ какъ въ его время механика не получила еще надлежащаго развитія, многіе законы ея, весьма важные для объясненія движеній, вовсе не были извѣстны; мало былъ разработанъ также и математическій анализъ.

Кеплеръ могъ доказать только, что физическая причина должна быть, и что причина эта заключается въ солнцѣ.

Разсужденія его слѣдующія.

Если планета движется вокругъ солнца по нѣкоторому эллипсу, то въ случаѣ существованія физической причины, заставляющей двигаться планету, причина эта должна лежать въ плоскости эллипса, такъ какъ въ противномъ случаѣ причина эта вывела бы планету изъ плоскости орбиты и движеніе происходило по какой нибудь кривой въ пространствѣ. То же мы должны сказать по отношенію къ другой планетѣ, третьей и т.д., слѣдовательно, общая причина или сила, приводящая въ движеніе всѣ планеты, должна лежать въ той точкѣ, которая является общей для всѣхъ орбитъ, но всѣ орбиты пересѣкаются въ солнцѣ, слѣдовательно, и причина или сила можетъ лежать только въ солнцѣ.

Нетрудно видѣть теперь, какого рода эта сила. Такъ какъ планеты вѣчно двигаются вокругъ солнца, то эта сила должна быть притягательная; если бы сила была отталкивательной, то планеты необходимо должны были удалиться отъ солнца.

Кеплеръ не пошелъ дальше этой качественной стороны вопроса, рѣшеніе которой не представляло особыхъ трудностей.

Совсѣмъ другое дѣло измѣрить силу, приводящую въ движеніе планеты, показать, что она дѣйствуетъ такъ, а

не иначе; эта сторона вопроса представляетъ гораздо больше трудностей, и рѣшеніе ея всецѣло принадлежитъ Исааку Ньютону.

Въ біографіяхъ Ньютона обыкновенно сообщается, что Ньютонъ открылъ свой великій законъ тяготѣнія, благодаря случайности: отдыхая разъ въ своемъ саду, Ньютонъ увидѣлъ, какъ падало яблоко, и это навело его на мысль, что существуетъ сила, которая заставляетъ всѣ тѣла падать къ землѣ, какъ бы притягиваетъ ихъ къ землѣ. и у него явилось желаніе ближе изслѣдовать эту силу.

Предположивъ, что сила тяжести дѣйствуетъ и на весьма значительныхъ разстояніяхъ, Ньютонъ естественно долженъ былъ задать себѣ вопросъ: не дѣйствуетъ ли та же сила земного притяженія и на луну, ближайшее къ землѣ изъ всѣхъ небесныхъ тѣлъ. Ньютонъ заранѣе былъ увѣренъ въ существованіи закона, по которому сила тяжести измѣняется обратно пропорціонально квадратамъ разстояній; такую увѣренность онъ нашелъ изъ разсмотрѣнія аналогичныхъ явленій природы, каковы, напр. законы распространенія звука, свѣта, тепла и пр. Поэтому Ньютонъ вычислилъ, на какую величину должно упасть свободно падающее тѣло въ первую секунду времени, если оно будетъ помѣщено на мѣсто луны; съ другой стороны, зная элементы лунной орбиты, Ньютонъ могъ вычислить ту скорость, съ какой луна приближается къ землѣ въ секунду времени. Въ случаѣ тождества силы тяжести, дѣйствующей на земной поверхности, и силы, дѣйствующей на

луну, эти двѣ скорости должны были быть равными.

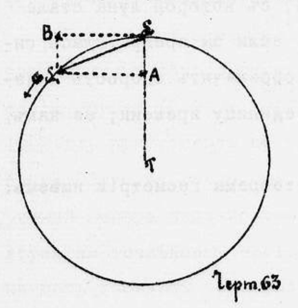
Пусть будетъ g величина силы тяжести на экваторѣ. Какъ извѣстно, эта сила измѣряется удвоеннымъ пространствомъ, проходимымъ въ первую секунду паденія; это относится къ поверхности земли, гдѣ центръ тяготѣнія - центръ земли и разстояніе - радіусъ земли r; если же тѣло будетъ помѣщено на разстояніи R отъ центра земли до луны, гдѣ $R = kr = 60{,}3\,r$, то сила тяжести выразится черезъ:

$$\frac{gr^2}{R^2} = \frac{gr^2}{k^2r^2} = \frac{g}{k^2}$$

Коеффиціентъ k - отношеніе радіуса лунной орбиты къ радіусу земли - былъ хорошо извѣстенъ во время Ньютона; оказывается, что

$$\frac{g}{k^2} = \frac{9{,}^m8}{60{,}3^2} = 0{,}0027^m$$

Теперь нужно вычислить дѣйствительное паденіе луны на землю. Для простоты разсужденій положимъ, что орбита луны круговая и луна движется около земли въ плоскости черт. 63 въ направленіи, указанномъ стрѣлкой. Пусть будетъ T центръ земли,, r - радіусъ ея; $ST = R =$ разстоянію луны до центра



Черт.63

СПБ. УНИВЕРСИТЕТА. ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, В.О. Б. ГРЕБЕЦКАЯ 49-6. СПБ.

земли и S положеніе луны въ нѣкоторый моментъ. Если бы въ точкѣ S притягательная сила земли прекратила свое дѣйствіе, то луна была бы предоставлена самой себѣ и подчинилась бы закону инерціи, т.-е. пошла бы по касательной SB съ пріобрѣтенной скоростью равномѣрно и прямолинейно; съ другой стороны, если бы луна была въ точкѣ S неподвижна, то она стала бы падать къ землѣ по направленію ST ; на самомъ же дѣлѣ движеніе происходитъ по дугѣ круга. Допустимъ, что черезъ единицу времени луна придетъ въ положеніе S_1 , двигаясь равномѣрно по дугѣ SS_1 круга, но въ виду малости промежутка времени дуга весьма незначительно будетъ отличаться отъ хорды, и мы можемъ принять это движеніе за прямолинейное, происходящее по хордѣ SS_1 , и сказать, что прямая SS_1 выражаетъ скорость движенія луны по орбитѣ въ единицу времени. Эту скорость мы можемъ разложить на двѣ, построивъ на линіяхъ SB и ST параллелограммъ такой, чтобы SS_1 была діагональю; тогда линія SB выразитъ скорость, съ которой луна стала бы двигаться по касательной, если бы прекратилась сила притяженія, а линія SA обозначитъ скорость паденія луны на землю въ первую единицу времени; ее намъ и нужно вычислить.

На основаніи извѣстной теоремы геометріи имѣемъ:

$$\overline{SA}\cdot 2R = \overline{SS_1}^2 \text{ или}$$

$$SA = \frac{\overline{SS_1}^2}{2R};$$

Здѣсь SS_1 есть пространство, проходимое луною

въ единицу времени; если время полнаго оборота луны $= T^s$,

$$\text{то } \overline{SS_1} = \frac{2\pi R}{T^s} \text{ и}$$

$$\overline{SA} = \frac{2\pi^2 R}{T^2} = \frac{2\pi^2 k\cdot r}{T^2}$$

откуда сила притяженія земли, оказываемаго на луну, выразится величиной

$$\frac{4\pi^2 k\cdot r}{T^2}$$

Въ эту величину входитъ явнымъ образомъ радіусъ земли; поэтому, если въ опредѣленіи r существуетъ погрѣшность, то въ той же степени погрѣшность будетъ и въ величинѣ притяженія.

Во время Ньютона, какъ теперь оказывается, r было извѣстно съ точностью до $1/7$ всей величины. Поэтому Ньютонъ, первый разъ вычисляя скорость паденія и отсюда силу притяженій луны, получилъ не $0{,}0027^m$, какъ слѣдовало ожидать, а $0{,}0023^m$ - величину, отличавшуюся на $1/7$ часть всей величины..

При такомъ несогласіи результатовъ Ньютонъ считалъ невозможнымъ обнародовать свой законъ и только впослѣдствіи, спустя 16 лѣтъ послѣ первыхъ вычисленій, онъ въ 1682 г., присутствуя на засѣданіи Лондонскаго Королевскаго Общества, услышалъ сообщеніе, что французскій ученый Пикаръ недавно окончилъ вычисленіе земного радіуса по точнѣйшимъ измѣреніямъ. Говорятъ, что Ньютонъ не могъ досидѣть до конца засѣданія, сгорая отъ нетерпѣнія провѣрить свои вычисленія съ новыми данными. При-

дя домой, онъ садится за вычисленія, но волненіе преодолѣваетъ его силы; онъ проситъ своего друга продѣлать выкладки, въ то время какъ самъ въ волненіи ходитъ по комнатѣ. Но вотъ вычисленія окончены и результаты сравнены - они совершенно одинаковы!

Такимъ образомъ найденъ былъ законъ всемірнаго тяготѣнія.

Этотъ законъ, будучи распространенъ на всѣ планеты, и другія тѣла небеснаго пространства, нашелъ вездѣ свое подтвержденіе и формулируется такъ:

„Всякія двѣ матеріальныя частицы притягиваются взаимно съ силой, обратно пропорціональной квадрату ихъ разстояній и прямопропорціонально произведенію ихъ массъ." Посредствомъ формулы законъ этотъ выражается такъ:

$$f = \frac{k.m.m'}{r^2}$$

гдѣ f - сила притяженія, r - разстояніе между частицами, m и m' ихъ массы, а k постоянный коэффиціентъ, выражающій величину силы притяженія двухъ массъ, равныхъ единицѣ и помѣщенныхъ одна отъ другой на единицѣ разстоянія.

Столь простой законъ тяготѣнія имѣлъ весьма важныя послѣдствія. Онъ далъ возможность объяснить всѣ явленія въ движеніи небесныхъ свѣтилъ. Съ помощью его Ньютонъ вывелъ цѣлый рядъ слѣдствій, въ числѣ ихъ были и законы Кеплера, только уже исправленные, или, вѣрнѣе, дополненные. Рѣшая задачу о двухъ взаимно тяготѣющихъ тѣлахъ, Ньютонъ выяснилъ, что первый законъ Кеплера есть только частный случай общаго закона, который гласитъ, что взаимно тяготѣющія тѣла могутъ двигаться около ихъ общаго центра тяжести по всѣмъ кривымъ коническихъ сѣченій; видъ той или другой кривой зависитъ отъ начальной скорости. Если начальная скорость обоихъ тѣлъ равна нулю, то они будутъ двигаться по прямой навстрѣчу другъ къ другу; при другихъ же начальныхъ скоростяхъ получаются или эллипсъ (частный его случай - кругъ) или гипербола или парабола, такъ какъ эксцентриситетъ круга = 0, а параболы = I, то изъ всѣхъ начальныхъ скоростей только двѣ соотвѣтствуютъ этимъ кривымъ; остальныя же скорости соотвѣтствуютъ эллипсу или гиперболѣ.

Второй законъ Кеплера - общій для всѣхъ тяготѣющихъ центральныхъ силъ; этотъ законъ міровой.

Третій законъ Кеплера выведенъ Ньютономъ изъ закона всемірнаго тяготѣнія и дополненъ нѣкоторыми добавочными членами, такъ что имѣетъ такой видъ:

$$\frac{t^2(M+m)}{t_1^2(M+m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}$$

гдѣ M масса солнца, m и m_1 массы планетъ. Если представить эту дробь въ такомъ видѣ: $\frac{t^2(1+\frac{m}{M})}{t_1^2(1+\frac{m_1}{M})} = \frac{a^3}{a_1^3}$, то множители $(1+\frac{m}{M})$ и $(1+\frac{m_1}{M})$ такъ мало отличаются отъ единицы, что нѣтъ ничего удивительнаго, что Кеплеръ не могъ ихъ замѣтить изъ наблюденій. Въ самомъ дѣлѣ, наибольшее значеніе $\frac{m}{M} = \frac{1}{1048}$, если m-масса Юпитера.

Въ свою очередь и законъ Ньютона можетъ быть выведенъ на основаніи законовъ Кеплера. Въ теоретической астрономіи и механикѣ рѣшается вопросъ, какъ по законамъ Кеплера вывести законъ тяготѣнія и обратно, поэтому мы не будемъ тутъ разсматривать этого вопроса.

Слѣдующія главы будутъ посвящены разсмотрѣнію важнѣйшихъ слѣдствій, вытекающихъ изъ закона тяготѣнія.

17. ПРИЛИВЫ И ОТЛИВЫ.

Явленіе приливовъ и отливовъ происходитъ слѣдующимъ образомъ въ извѣстную часть дня или ночи въ мѣстахъ у открытыхъ морей замѣчается періодическое поднятіе и опусканіе уровня; если поднятіе наблюдалось въ какой-нибудь моментъ, то черезъ 6¼ часа наблюдается опусканіе, затѣмъ черезъ 6¼ часа опять поднятіе и т.д. въ томъ же порядкѣ. Въ среднемъ, поднятіе уровня достигаетъ 1 сажени, но въ нѣкоторыхъ мѣстахъ можетъ достигать значительно высшаго положенія.

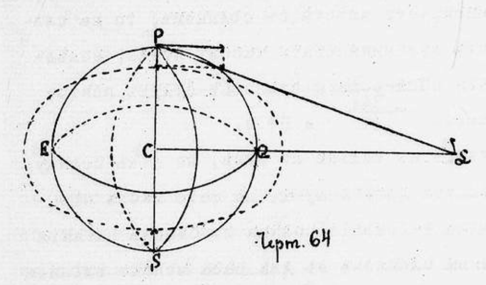
Точными приборами установлено явленіе приливовъ и отливовъ даже въ большихъ озерахъ Америки; въ океанахъ же это явленіе рѣзко бросается въ глаза. Мореплаватели во многихъ случаяхъ пользуются этимъ явленіемъ, чтобы войти или выйти изъ порта по рѣкѣ, въ которой обыкновенно бываютъ нанесены отмели, затрудняющія иногда до того движеніе, что можно войти или выйти изъ порта, только пользуясь поднятіемъ уровня.

Первыя попытки теоретическаго объясненія этого явленія были предприняты Галилеемъ; онъ обратилъ вниманіе, что тутъ главную роль играетъ луна, такъ какъ большее или меньшее поднятіе уровня совпадало съ фазами луны и ея положеніемъ около меридіана. Полное теоретическое объясненіе дано было впервые Ньютономъ на

основаніи закона тяготѣнія въ предположенія, что приливъ и отливъ есть слѣдствіе притяженія, оказываемаго луною на водную поверхность земли.

Разсмотримъ сперва качественную сторону вопроса. Для простоты разсужденій, положимъ, что поверхность земли покрыта сплошь водою и луна находится въ плоскости экватора; отъ этихъ частныхъ предположеній легко перейти къ общему случаю, такъ какъ ходъ разсужденій будетъ тотъ же.

Такъ какъ точка Q (черт. 64) тяготѣетъ къ лунѣ съ большей силой, чѣмъ C, а C большей, чѣмъ E, то это вызоветъ относительное перемѣщеніе точекъ: точки около Q приблизятся, а около E



Черт. 64

отстанутъ. Точки около P и S тяготѣютъ съ такой же силой, какъ и C, поэтому относительнаго перемѣщенія не будетъ, но силу, дѣйствующую на P по направленію PS можно разложить на двѣ силы - по направленію касательной въ точкѣ P и по направленію къ центру; первая сила не вызоветъ относительнаго перемѣщенія точекъ, а вторая сила приблизитъ точки около P къ центру; то же явленіе будетъ и съ точками около S. Это разсужденіе отъ слова до слова можно приложить ко всякому свѣченію.

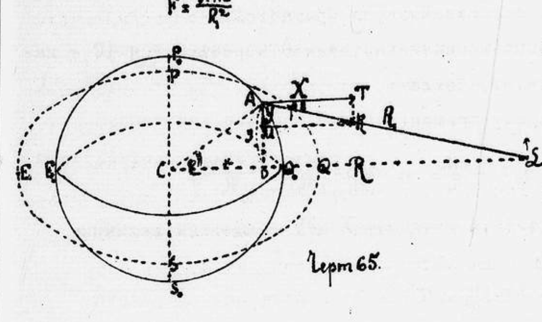
Слѣдовательно, для наблюдателя, находящагося на линіи, соединяющей центры земли и луны, то-есть для наблюдателя, для котораго луна находится въ кульминаціи, будетъ приливъ; для наблюдателя же, расположеннаго по линіи PS , то-есть для котораго луна на горизонтѣ, будетъ отливъ; такъ какъ земля вращается, то каждый наблюдатель у береговъ увидитъ въ теченіе сутокъ два раза приливъ и два раза отливъ, но такъ какъ луна сама движется въ сторону вращенія земли и ежедневно перемѣщается приблизительно на 15^{o} , то поэтому, если луна въ - одинъ день кульминируетъ вмѣстѣ съ солнцемъ, то въ слѣдующій день будетъ кульминировать часомъ позже, вслѣдствіе чего явленія приливовъ и отливовъ будутъ повторяться черезъ каждые $\frac{24+1}{4} = 6\frac{1}{4}$ ч.

Земля тяготѣетъ не только къ лунѣ, но и къ солнцу, хотя солнце находится дальше луны, но зато масса его больше, и въ общемъ тяготѣніе солнца въ смыслѣ вліянія на приливы и отливы слишкомъ въ два раза меньше вліянія луны; когда солнце и луна находятся въ соединеніи или противостояніи, то-есть въ моментъ новолунія и полнолунія, - то приливы достигаютъ наибольшей величины; когда же солнце и луна находятся въ квадратурахъ, то приливная волна достигаетъ наименьшей высоты, такъ какъ въ первомъ случаѣ высота приливной волны равна суммѣ высотъ отъ совокупнаго дѣйствія луны и солнца, во второмъ - ихъ разности.

Разсмотримъ теперь и количественную сторону вопроса.

Обозначимъ разстояніе точки A (черт.65) до $\mathcal{L}$ черезъ R_1 , массу луны черезъ m , радіусъ земли - r , силу притяженія единицы массы на единицѣ разстоянія - f . Тогда по закону тяготѣнія точка A будетъ притягиваться луною съ силой

$$F = \frac{f.m}{R_1^2}$$



Черт 65.

Разложимъ эту силу F ,изображаемую отрѣзкомъ AK на двѣ силы: одну по направленію AT, параллельному $C\mathcal{L}$, а другую по направленію, перпендикулярному къ $C\mathcal{L}$, и обозначимъ ихъ соотвѣтственно черезъ X и Y ; онѣ символически изображаются отрѣзками AT и AM .

Ясно, что $X = F\cos(T\hat{A}\mathcal{L}) = F\cos\beta$.

$$Y = F\sin\beta$$

или

$$X = \frac{f.m}{R_1^2}\cos\beta$$

$$Y = \frac{f.m}{R_1^2}\sin\beta$$

Если преобразуемъ эти выраженія такъ, чтобы они зависѣли только отъ положенія на земной поверхности разсматриваемой точки, то давая ϱ различныя значенія, получимъ искомый результатъ.

Величины f и m постоянныя, а R_1 и β перемѣнныя; замѣнимъ эти двѣ перемѣнныя величины одной перемѣнной, при этомъ допустимъ, что луна вращается вокругъ земли по окружности; погрѣшность, которую мы при этомъ сдѣлаемъ, будетъ незначительная, такъ какъ эксцентриситетъ лунной орбиты очень маленькій.

Обозначимъ координаты точки A черезъ x и y (C - начало координатъ); тогда

$$x = r\cos\varphi\ ;\ y = r\sin\varphi,$$

но $\sin\beta = \frac{y}{R_1} = \frac{r\sin\varphi}{R_1}$ и $\cos\beta = \frac{R-x}{R_1} = \frac{R - r\cos\varphi}{R_1}$

подставляя въ выраженія для X и Y найденныя величины $\sin\beta$ и $\cos\beta$, имѣемъ:

$$X = \frac{f.m.(R - r\cos\varphi)}{R_1^3}$$

$$Y = \frac{f.m.r.\sin\varphi}{R_1^3}$$

Далѣе, изъ треуг. $AC\mathfrak{L}$ имѣемъ:

$R_1^2 = R^2 + r^2 - 2Rr\cos\varphi$, гдѣ R и r при нашихъ предположен. постоянныя величины.

Выноса R^2 за скобки, получаемъ:

$$R_1^2 = R^2\left(1 - 2\frac{r}{R}\cos\varphi + \frac{r^2}{R^2}\right)$$

Численное значеніе $\frac{r}{R} = \frac{1}{60.3}$; если вода въ среднемъ поднимается на одну сажень, то пренебрегая членомъ $\frac{r^2}{R^2}$ мы сдѣлаемъ ошибку порядка $\frac{1}{3600}$ сажени, то-есть ошибку, весьма незначительную. Отбросивъ поэтому членъ $\frac{r^2}{R^2}$, возведемъ полученное равенство въ степень $-\frac{3}{2}$

$\frac{1}{R_1^3} = \frac{1}{R^3}\left[1 - 2\frac{r}{R}\cos\varphi\right]^{-\frac{3}{2}}$ и разложимъ по формулѣ бинома Ньютона; при чемъ въ разложеніи отбросимъ члены, содержащіе $\frac{r}{R}$ въ степеняхъ второй и высшихъ на основаніи

предыдущихъ соображеній

$$\frac{1}{R_1^3} = \frac{1}{R^3}\left[1 + \frac{3}{2}\cdot 2\cdot\frac{r}{R}\cos\varphi + \dots\right]$$

Подставляя полученную величину для $\frac{1}{R_1^3}$ въ выраженія для X и Y , будемъ имѣть:

$$X = \frac{f.m.(R - r\cos\varphi)}{R^3}\left(1 + 3.\frac{r}{R}\cos\varphi\right)$$

$$Y = \frac{f.m.r.\sin\varphi}{R^3}\left(1 + 3.\frac{r}{R}\cos\varphi\right)$$

Преобразуемъ нѣсколько эти выраженія:

$$X = \frac{f.m.}{R^2} - \frac{f.m.r\cos\varphi}{R^3} + \frac{3m.f.r\cos\varphi}{R^3} - \frac{3f.m.r^2\cos^2\varphi}{R^4}$$

Отбрасывая послѣдній членъ, какъ содержащій $\frac{r^2}{R^2}$ и дѣлая приведеніе, получаемъ

$$X = \frac{f.m}{R^2} + \frac{2.f.m.r\cos\varphi}{R^3}$$

Путемъ подобныхъ же преобразованій находимъ, что

$$Y = \frac{f.m.r\sin\varphi}{R^3}$$

Итакъ, мы опредѣлили достаточно точно двѣ силы X и Y дѣйствующія на точку A ; первая изъ нихъ X дѣйствуетъ по направленію AT и состоитъ изъ двухъ слагаемыхъ: $\frac{fm}{R^2}$ и $\frac{2fm.r\cos\varphi}{R^3}$ первая изъ которыхъ есть сила, съ которою центръ земли стремится къ лунѣ и которая, слѣдовательно, не вызываетъ относительнаго перемѣщенія точекъ; вторая же слагаемая дѣйствуетъ на точку A и зависитъ отъ широты мѣста φ . Поэтому введемъ въ разсмотрѣніе только силу

$$X_1 = X - \frac{f.m}{R^2} = \frac{2f.m.r\cos\varphi}{R^3}$$

Сила Y дѣйствуетъ на A по направленію линіи, соединяющей центры земли и луны и также зависитъ отъ широты мѣста.

Разсмотримъ дѣйствіе этихъ двухъ силъ X_1 и Y на точку, находящуюся на различныхъ широтахъ

При

$$\varphi = 0^\circ \begin{cases} X_1 = \frac{2.f.mr}{R^3} \\ Y = 0 \end{cases}$$

Отсюда заключаемъ, что точка Q_0 ($\varphi=0$), принадлежащая водной поверхности, передвинется отъ своего первоначальнаго положенія Q_0, гдѣ она была бы, если луна не оказывала бы никакого дѣйствія, и перейдетъ въ Q подъ вліяніемъ силы $\frac{2fmr}{R^3}$; слѣдовательно, въ точкѣ Q будетъ приливъ

При

$$\varphi=90^\circ \begin{cases} X_1=0 \\ Y=\frac{f \cdot m \cdot r}{R^3}; \end{cases}$$

то-есть точка P_0 перемѣстится по направленію къ центру въ положеніе P на величину $\frac{f \cdot m \cdot r}{R^3}$, и такимъ образомъ въ точкѣ P будетъ отливная волна, которая, какъ видно изъ сравненія величинъ $\frac{fmr}{R^3}$ и $\frac{2fmr}{R^3}$ будетъ въ два раза меньше, чѣмъ приливная.

При

$$\varphi=180^\circ \begin{cases} X=-\frac{2fmr}{R^3}; \\ Y=0; \end{cases}$$

что показываетъ, что точка E_0 ($\varphi=180^\circ$) отстанетъ отъ своего первоначальнаго положенія и перейдетъ въ E, то-есть здѣсь будетъ наблюдаться приливъ.

При

$$\varphi=270^\circ \begin{cases} X=0; \\ Y=-\frac{f \cdot m \cdot r}{R^3}; \end{cases}$$

точка S_0 перемѣстится въ S и будетъ отливъ.

Въ промежуточныхъ точкахъ явленіе очевидно.

Явленіе происходило бы въ такой чистотѣ, если бы вся поверхность была покрыта водою, и луна и солнце находились бы постоянно въ плоскости экватора. Въ дѣйствительности же явленіе усложняется разными причинами, какъ то инерціей водъ, треніемъ ихъ о берега и дно и др., различными для различныхъ точекъ земной поверхности, причины эти задерживаютъ явленіе, такъ что, когда луна находится въ кульминаціи, приливная волна еще не достигла своей наибольшей величины. Разность между моментами кульминаціи и наибольшей высотой воды для даннаго мѣста называется прикладнымъ часомъ. Прикладной часъ обыкновенно дается въ астрономическихъ ежегодникахъ для важнѣйшихъ портовъ.

Чтобы найти моментъ наибольшей высоты приливной волны, нужно опредѣлить моментъ кульминаціи луны и придать прикладной часъ.

То обстоятельство, что солнце и луна непостоянно находятся въ плоскости экватора, вызываетъ наибольшее поднятіе не на экваторѣ, но иногда въ сѣверномъ, иногда въ южномъ полушаріи, но эти перемѣщенія незначительны.

Если земля вращаясь встрѣчаетъ въ приливной волнѣ сопротивленіе, вслѣдствіе чего и получается запаздываніе приливной волны, то, слѣдовательно, луна должна оказывать вліяніе на вращательное движеніе земли, и очень можетъ быть что вращательное движеніе земли замедляется, хотя до сихъ поръ этого и не удалось замѣтить. Быть можетъ, со временемъ земля будетъ обращена также одной стороной къ лунѣ, какъ луна къ землѣ.

18. ПРЕЦЕССІЯ.

Явленіе прецессіи открыто было Гиппархомъ за 150 лѣтъ до Р.Хр.; онъ сравнилъ положеніе звѣздъ, имъ опредѣленныя, съ тѣми, которыя были опредѣлены за 200 лѣтъ

до него, и замѣтилъ, что долготы звѣздъ увеличились, широты же остались безъ перемѣны. Гиппархъ нашелъ, что точка весенняго равноденствія медленно отступаетъ ежегодно въ сторону, противоположную отсчету долготъ, то есть отъ востока къ западу; въ настоящее время это отступленіе вычислено довольно точно и принимается равнымъ 50",26.

Такъ какъ въ равноденственныхъ точкахъ небесная сфера встрѣчается линіею пересѣченія двухъ плоскостей экватора и эклиптики, то слѣдовательно, обѣ эти плоскости или по крайней мѣрѣ одна изъ нихъ должна находиться въ движеніи, измѣнять свое положеніе въ пространствѣ. Такъ какъ измѣняются однѣ только долготы, а широты остаются безъ измѣненія, то должно измѣняться положеніе экватора и оси міра, всегда перпендикулярной къ плоскости экватора, эклиптика же остается въ покоѣ.

При этомъ перемѣщеніи экватора уголъ между плоскостью экватора и эклиптики, а слѣдовательно, между осью міра и осью эклиптики не измѣняется; поэтому ось міра, перемѣщаясь вмѣстѣ съ экваторомъ, должна медленно описывать поверхность конуса вокругъ неподвижной оси эклиптики.

До Ньютона никто не касался причины этого явленія; Ньютонъ первый объяснилъ это явленіе, какъ слѣдствіе притягательнаго дѣйствія солнца и луны на эллипсоидальный избытокъ земли. Если бы земля была шаромъ, то, на основаніи того, что какъ доказывается въ механикѣ, притяженіе шара можно замѣнить притяженіемъ его центра,

явленія прецессіи не было бы, но земля не шаръ, и эллипсоидальный избытокъ производитъ описанное явленіе.

Прежде чѣмъ перейти къ разсмотрѣнію физической причины прецессіи, разсмотримъ вкратцѣ, какъ производится сложеніе вращательныхъ движеній.

Вращательныя движенія изображаются отрѣзками прямой линіи, совпадающими съ осью вращенія и пропорціональными угловымъ скоростямъ движеній; направленіе вращательнаго движенія условимся обозначать слѣдующимъ образомъ: отрѣзкамъ, изображающимъ вращательное движеніе, придаемъ направленіе такое, чтобы для наблюдателя, находящагося въ основаніи стрѣлки, движеніе происходило бы по часовой стрѣлкѣ; такъ, напр., отрѣзокъ I (черт.66) изображаетъ вращательное движеніе по часовой стрѣлкѣ, а отрѣзокъ II- противъ часовой стрѣлки для наблюдателя, находящагося въ A. Сложеніе вращательныхъ движеній происходитъ по правиламъ, аналогичнымъ для сложенія прямолинейныхъ движеній, то-есть и тутъ имѣетъ мѣсто параллелограмъ скоростей.

A Черт.66.

Пусть тѣло P (черт.67) вращается около оси AB съ угловой скоростью ω и около оси AC съ угловой скоростью ω'; оба движенія происходятъ по часовой стрѣлкѣ для наблюдателя, находящагося въ A. Пусть будетъ r разстояніе точки D до AB и r'-разстояніе D до AC. Вслѣдствіе вращательнаго движенія около AB точка D будетъ стремиться опуститься, и перемѣщеніе s будетъ

$$s=\omega r;$$

вслѣдствіе движенія около AC точка D будетъ стремиться

поднятъся и перемѣщеніе s' будетъ:

$$s' = \omega' v'$$

Если $s = s'$ или $v\omega = v'\omega'$, то разсматриваемая точка D находится въ покоѣ, то-есть она лежитъ на новой оси вращенія; такъ какъ точка A также лежитъ на оси, то значитъ, AD будетъ новая ось вращенія; итакъ, если выполнено условіе $\frac{\omega}{\omega'} = \frac{v'}{v}$, то точка будетъ принадлежать оси вращенія

Черт. 67.

Докажемъ, что новая ось есть діагональ параллелограмма, построеннаго на данныхъ скоростяхъ.

Построимъ параллелограммъ на данныхъ скоростяхъ $AB = \omega$ и $AC = \omega'$ и проведемъ діагональ AE (черт. 68); возставимъ изъ B перпендикуляръ до пересѣченія съ діагональю въ точкѣ F, изъ которой опустимъ перпендикуляръ на AC

Пусть $B = x$ $FD = x'$

Изъ чертежа ясно, что

$$x = AF \sin\alpha$$

$$x' = AF \sin\alpha'$$ откуда

Черт. 68

$$\frac{x}{x'} = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'}$$

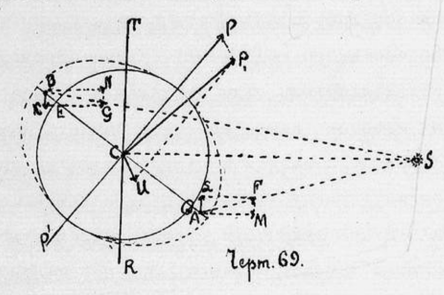
Изъ треуг. AEC имѣемъ: $\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'} = \frac{\omega'}{\omega}$ такъ что

$$\frac{\omega'}{\omega} = \frac{x}{x'},$$

Слѣдовательно, точка F, лежащая на діагонали параллелограмма, принадлежитъ оси вращенія; такъ какъ къ ней принадлежитъ и точка A, то, слѣдовательно, діагональ будетъ новая ось вращенія.

Имѣя это въ виду, перейдемъ къ нашей задачѣ.

Пусть PP' есть ось міра (черт. 69), TR - ось эклиптики, EQ - сѣченіе земного сфероида плоскостью проходящей черезъ ось міра и ось эклиптики, S - положеніе солнца въ моментъ лѣтняго солнцестоянія ($\delta_\odot = +23°27'$). Вообразимъ внутри земного сфероида шаръ, описанный радіусомъ равнымъ малой полуоси эллипса. Равнодѣйствующая



Черт. 69.

притягательныхъ силъ, дѣйствующихъ на частицы этого шара, не произведетъ никакого измѣненія во вращательномъ движеніи. Пусть массы экваторіальныхъ возвышеній, поднимающихся вокругъ этого шара, будутъ сосредоточены въ точкахъ A и B, то-есть пусть A и B будутъ центры тяжести этихъ слоевъ.

Сила тяготѣнія, дѣйствующая на A, будетъ направлена по AS, дѣйствующая на B, по BS. Пусть эти силы изображаются отрѣзками AF и BG; разложимъ каждую изъ этихъ силъ на составляющія - одну, параллельную CS, другую, къ ней перпендикулярную; силы MF и BN не производутъ относительнаго перемѣщенія точекъ, силы же AM и BK стремятся приблизить ихъ къ центру, то-есть производятъ вращательное движеніе вокругъ оси перпендикулярной къ чертежу, и

СПБ. УНИВЕРСИТЕТА. ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, В.О., 6-ГРЕБЕЦКАЯ 49-6. СПБ.

подняться и перемѣщеніе s' будетъ:

$$s' = \omega' v'$$

Если $S = S'$ или $v\omega = v'\omega'$, то разсматриваемая точка D находится въ покоѣ, то-есть она лежитъ на новой оси вращенія; такъ какъ точка A также лежитъ на оси, то значитъ, AD будетъ новая ось вращенія; итакъ, если выполнено условіе $\frac{\omega'}{\omega} = \frac{v}{v'}$, то точка будетъ принадлежать оси вращенія.

Черт 67.

Докажемъ, что новая ось есть діагональ параллелограмма, построеннаго на данныхъ скоростяхъ.

Построимъ параллелограммъ на данныхъ скоростяхъ $AB = \omega$ и $AC = \omega'$ и проведемъ діагональ AE (черт.68); возставимъ изъ B перпендикуляръ до пересѣченія съ діагональю въ точкѣ F, изъ которой опустимъ перпендикуляръ на AC

Пусть $B = x$ $FD = x'$

Изъ чертежа ясно, что

$$x = AF\sin\alpha$$

$$x' = AF\sin\alpha'$$

откуда

$$\frac{x}{x'} = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'}$$

Изъ треуг. AEC имѣемъ: $\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'} = \frac{\omega'}{\omega}$ такъ что

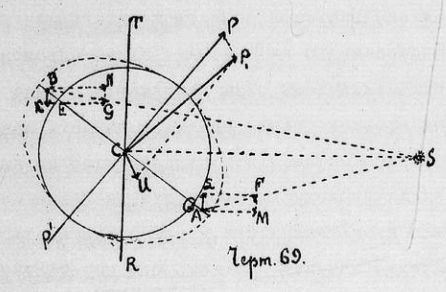
$$\frac{\omega'}{\omega} = \frac{x}{x'},$$

Черт 68

Слѣдовательно, точка F, лежащая на діагонали параллелограмма, принадлежитъ оси вращенія; такъ какъ къ ней принадлежитъ и точка A, то, слѣдовательно, діагональ будетъ новая ось вращенія.

Имѣя это въ виду, перейдемъ къ нашей задачѣ.

Пусть PP' есть ось міра (черт.69), TR - ось эклиптики, EQ - сѣченіе земного сфероида плоскостью проходящей черезъ ось міра и ось эклиптики, S - положеніе солнца въ моментъ лѣтняго солнцестоянія ($\delta_0 = +23°27'$). Вообразимъ внутри земного сфероида шаръ, описанный радіусомъ равнымъ малой полуоси эллипса. Равнодѣйствующая



Черт. 69.

притягательныхъ силъ, дѣйствующихъ на частицы этого шара, не произведетъ никакого измѣненія во вращательномъ движеніи. Пусть массы эквиторіальныхъ возвышеній, поднимающихся вокругъ этого шара, будутъ сосредоточены въ точкахъ A и B, то-есть пусть A и B будутъ центры тяжести этихъ слоевъ.

Сила тяготѣнія, дѣйствующая на A, будетъ направлена по AS, дѣйствующая на B, по BS. Пусть эти силы изображаются отрѣзками AF и BG; разложимъ каждую изъ этихъ силъ на составляющія - одну, параллельную CS, другую, къ ней перпендикулярную; силы MF и BN не производутъ относительнаго перемѣщенія точекъ, силы же AM и BK стремятся приблизить ихъ къ центру, то-есть производятъ вращательное движеніе вокругъ оси перпендикулярной къ чертежу, и

СПБ. УНИВЕРСИТЕТА. ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П.С. Б-ГРЕБЕЦКАЯ 19-6. СПБ.

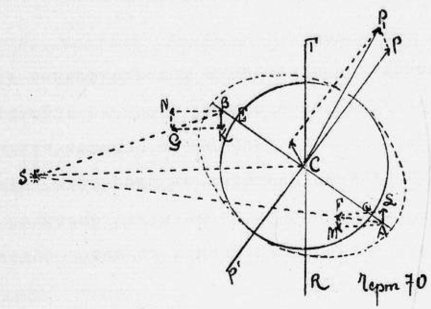
согласно нашимъ обозначеніямъ, направленной въ сторону читателя. Такъ какъ земля имѣетъ еще вращательное движеніе вокругъ оси PP' по направленію часовой стрѣлки для наблюдателя въ P', что указывается соотвѣтствующимъ направленіемъ PP', то эти два вращательныхъ движенія сложатся, и новая ось вращенія пойдетъ по діагонали параллелограмма, построеннаго на OP и OM. Такимъ образомъ мы видимъ, что подъ вліяніемъ силы притяженія солнца на экваторіальный избытокъ земли ось міра выйдетъ изъ первоначальнаго своего положенія и перемѣстится по направленію, перпендикулярному къ плоскости, заключающей ось вращенія земли и ось эклиптики; тоже произойдетъ въ каждый послѣдующій моментъ, то-есть ось перемѣстится по направленію, перпендикулярному къ плоскости, заключающей прежнее положеніе оси и ось эклиптики.

Такъ какъ при этомъ уголъ $\omega = 23^{\circ}27'$ между осью міра и осью эклиптики не измѣняется, то слѣдствіемъ будетъ то, что ось міра опишетъ поверхность конуса около оси эклиптики въ періодъ времени, равный 25867 лѣтъ, а слѣдовательно и точка весенняго равноденствія опишетъ полный оборотъ въ 25867 лѣтъ, такъ какъ

$$\frac{360^{\circ}.60.60}{50'',26} = 25867 \text{ л.}$$

Мы разсмотрѣли притягательное дѣйствіе солнца въ моментъ лѣтняго солнцестоянія; подобное же явленіе произойдетъ и въ моментъ зимняго солнцестоянія, то-есть когда $\delta_{\odot} = -23^{\circ}27'$.

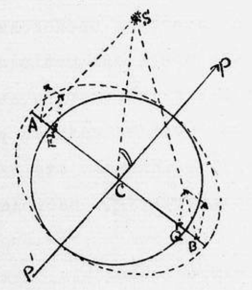
Въ самомъ дѣлѣ, пусть солнце занимаетъ положеніе (черт.70). Введя прежнія обозначенія, разсужденіями



Черт.70

подобными предыдущимъ, находимъ, что ось PP' перемѣстится въ P_1. Не то будетъ въ моментъ равноденствій,- то-есть когда $\delta_{\odot} = 0^{\circ}$

Пусть S есть положеніе солнца (черт.71); такъ какъ солнце находится въ плоскости экватора, то уголъ $SOP = 90^{\circ}$ Легко понять, что въ этотъ моментъ прецессіональнаго движенія не будетъ, такъ какъ силы, дѣйствующія на A и B, стремятся перемѣстить эти точки по направленіямъ, прямопротивоположнымъ перпендикулярно къ оси вращенія, слѣдовательно, онѣ не могутъ измѣнить положенія оси.



Черт.71

Отсюда слѣдуетъ, что прецессіональное движеніе не происходитъ равномѣрно: наибольшая его скорость во время солнцестояній наименьшая во время равноденствій, такъ что солнечная прецессія можетъ быть представлена въ видѣ

$$\psi = \psi_0 + a \sin \lambda_0$$

гдѣ

ψ_0 - среднее прецессіональное движеніе, а λ_0 - долгота

солнца.

Но не только солнце оказываетъ притягательное дѣйствіе на экваторіальный слой земли, такое же дѣйствіе, только въ два слишкомъ раза сильнѣйшее, оказываетъ и луна, и такъ какъ послѣдняя движется въ плоскости, мало отличающейся отъ эклиптики, то происходитъ явленіе, подобное описанному, и отъ суммированія является общая лунно-солнечная прецессія.

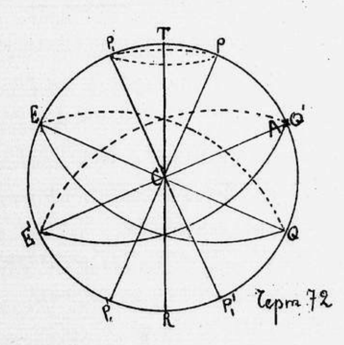
Возмущающее дѣйствіе солнца и луны производитъ не только одну прецессію. Въ дѣйствительности, ось вращенія земли еще описываетъ поверхность конуса съ эллиптическимъ основаніемъ около средняго своего положенія, которое она занимала бы, если бы существовала только одна прецессія. Полный періодъ вращенія происходитъ въ $18\frac{2}{3}$ года. Легко понять, что при этомъ періодически мѣняется наклонъ экватора къ эклиптикѣ, хотя и въ весьма тѣсныхъ предѣлахъ, такъ какъ большая полуось упомянутаго эллипса = 9",2, а малая = 6",9. Явленіе это называется нутаціей; оно открыто Брадлеемъ и въ настоящее время хорошо изучено.

Кромѣ того, какъ показываютъ наблюденія, существуетъ годовое колебаніе земной оси, зависящее по всей вѣроятности отъ внутренняго строенія земли.

Астрономическія слѣдствія явленія прецессіи. Такъ какъ равноденственныя точки движутся отъ востока черезъ югъ къ западу, то-есть навстрѣчу годовому движенію солнца, то равноденствія должны наступать раньше, чѣмъ въ томъ случаѣ, если бы эти точки оставались въ покоѣ;

такимъ образомъ, ближайшимъ слѣдствіемъ является предвареніе равноденствій, почему это явленіе и называется прецессіей, то-есть упрежденіемъ или предвареніемъ равноденствій. Промежутокъ времени отъ одного весенняго равноденствія до другого называется тропическимъ годомъ, который, слѣдовательно, немного короче времени полнаго обращенія земли вокругъ солнца на 360° или такъ называемаго звѣзднаго года; тропическій годъ меньше звѣзднаго приблизительно на 20 мин. и находится непосредственно изъ наблюденій и равенъ $365^d\ 5^h\ 48^m\ 46^s,1$, а звѣздный годъ можетъ быть найденъ изъ пропорціи: $S : 365,2422 = 360^\circ : (360^\circ - 56",2)$ и равенъ $365^d\ 6^h\ 9^m\ 9^s,6$.

Слѣдствіемъ прецессіональнаго движенія является и то обстоятельство, что около полюса міра въ различныя времена будутъ находится различныя звѣзды. Въ настоящее время ближайшей къ полюсу звѣздой является α Ursae minoris; приблизительно черезъ 12500 лѣтъ полярной звѣздой будетъ α Lyrae



Черт. 72

Если въ нѣкоторый моментъ A считается сѣверной звѣздой (черт.72) и имѣетъ $\delta = 46^\circ 55'$, то черезъ 12500 л. она будетъ на экваторѣ E'Q', такъ какъ полюсъ будетъ занимать тогда положеніе P_1

Таким образомъ, видъ всего неба для даннаго мѣста

постепенно измѣняется, а также измѣняются и координаты свѣтилъ; въ курсѣ "Сферической астрономіи" излагаются правила, какъ перейти отъ координатъ одной эпохи къ координатамъ другой.

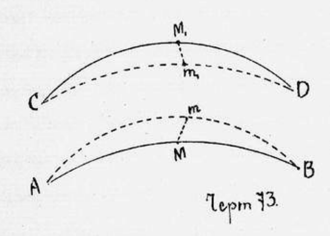
19. Возмущенія планетныхъ орбитъ.

Если бы въ природѣ существовала система, состоящая только изъ двухъ тѣлъ, взаимно тяготѣющихъ другъ къ другу, напримѣръ, система солнце-земля, то движеніе этихъ двухъ тѣлъ вполнѣ и неизмѣнно происходило бы по законамъ Кеплера, обобщеннымъ Ньютономъ. На самомъ же дѣлѣ свѣтилъ въ природѣ чрезвычайно много; въ нашей солнечной системѣ кромѣ солнца и земли имѣется еще много другихъ планетъ, большихъ и малыхъ; находящихся на различныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга. По закону Ньютона каждая частица матеріи обладаетъ свойствомъ притягивать другія, ей подобныя; поэтому и планеты должны притягивать другъ друга точно такъ же, какъ солнце притягиваетъ ихъ, только результаты притяженія между двумя планетами съ одной стороны и солнцемъ и планетой съ другой будутъ различны, что вполнѣ понятно, такъ какъ результаты эти зависятъ отъ массъ и разстоянія тяготѣющихъ тѣлъ.

Такъ какъ планеты въ своемъ движеніи приближаются или удаляются другъ отъ друга, то понятно, соотвѣтственно этому должна увеличиваться и уменьшаться между ними сила притяженія; въ зависимости отъ послѣдняго об-

стоятельства планета должна имѣть въ своемъ движеніи нѣкоторыя измѣненія. Подъ вліяніемъ притягательной силы одного только солнца планета должна двигатьмя по - точно эллиптической кривой; когда же на своемъ пути къ разсматриваемой планетѣ время отъ времени приближается другая настолько, что сила ихъ взаимнаго притяженія сдѣлается сравнимою съ главной силой солнца, то происходитъ уклоненіе отъ предначертаннаго солнцемъ пути.

Эти отступленія планетъ отъ законовъ Кеплера называются возмущеніями или пертурбаціями планетныхъ орбитъ. Въ общихъ чертахъ возмущенія происходятъ слѣдующимъ образомъ. Пусть кривая AB (черт. 73) означаетъ часть эллиптической орбиты планеты M; кривая CD изображаетъ часть эллиптической орбиты другой планеты.



Черт 73.

Когда планеты приблизятся другъ къ другу, то вслѣдствіе взаимнаго притяженія планета M будетъ стремиться приблизиться къ M_1 и поэтому уклонится отъ эллиптическаго пути AB и пойдетъ по кривой, болѣе выпуклой, чѣмъ AB (обозначена пунктиромъ); вмѣсто того, чтобы занять въ нѣкоторый моментъ положеніе M, она займетъ другое какое нибудь положеніе, допустимъ m. Длина Mm, означающая величину отклоненія планеты, называется возмущеніемъ планеты. Подобное же явленіе случится съ планетой M_1, только ея возмущенный

путь будетъ менѣе выпуклый; Mm_1 будетъ называться возмущеніемъ.

Возмущенія имѣютъ своимъ слѣдствіемъ постепенное измѣненіе планетныхъ орбитъ. Эти измѣненія въ теченіе болѣе или менѣе долгихъ періодовъ времени накопляются сначала въ одну, потомъ постепенно измѣняются въ другую сторону, такъ что съ теченіемъ времени они опять уравновѣшиваются. Такимъ образомъ, измѣненія планетныхъ орбитъ имѣютъ вообще характеръ періодическій, хотя періоды эти весьма различны для различныхъ элементовъ. Нѣкоторые изъ элементовъ, какъ, напримѣръ, эксцентриситетъ и уголъ наклоненія плоскости эклиптики къ плоскости экватора, колеблются въ весьма тѣсныхъ предѣлахъ относительно нѣкотораго средняго положенія въ теченіе долгихъ періодовъ времени; другіе же, какъ, напримѣръ, линіи узловъ, постоянно измѣняются въ одномъ направленіи и возстанавливаются въ концѣ иногда чрезвычайно громадныхъ періодовъ времени.

Всѣ эти измѣненія носятъ такой характеръ, что обезпечиваютъ навсегда прочность солнечной системы, то-есть послѣдняя, какъ показали глубокія изслѣдованія Лангранжа и др., находится въ состояніи устойчиваго равновѣсія. Послѣдній результатъ полученъ изъ разсмотрѣнія, вопроса о возмущающемъ дѣйствіи другъ на друга планетъ солнечной системы, вопроса чрезвычайно сложнаго.

Вопросъ этотъ въ общемъ случаѣ, когда разсматриваются взаимодѣйствія нѣскольких тѣлъ съ какими угодно массами и начальными скоростями и орбитами, до сихъ поръ въ окончательномъ видѣ не разрѣшенъ; проще онъ рѣшается въ случаѣ только трехъ взаимнотяготѣющихъ тѣлъ, къ которому можетъ быть приведенъ общій случай, почему этотъ вопросъ и носитъ классическое названіе "задачи о трехъ тѣлахъ;" но и эта послѣдняя задача въ общемъ видѣ не имѣетъ совершенно строгаго рѣшенія, несмотря на то, что надъ ней трудились первоклассные математики.

Лагранжъ показалъ, что задача о трехъ тѣлахъ можетъ быть рѣшена въ общемъ видѣ, если тѣла будутъ расположены въ вершинахъ равносторонняго треугольника, тогда движеніе будетъ устойчивое и можетъ быть выражено въ конечномъ видѣ для какого угодно момента времени; послѣ Лагранжа вопросъ расширился и можетъ быть разрѣшенъ и въ томъ случаѣ, если тѣла находятся въ вершинахъ равнобедреннаго треугольника, лишь бы отношеніе сторонъ этого треугольника было постоянно.

Въ послѣднее время открыта малая планета, которая составляетъ съ Юпитеромъ и Марсомъ равносторонній треугольникъ, такъ что оказался въ природѣ случай, для котораго задача разрѣшена въ окончательномъ видѣ, и открытіе это дастъ несомнѣнно возможность многое уяснить и провѣрить въ этомъ сложномъ вопросѣ о взаимнотяготѣющихъ тѣлахъ.

Въ нашей солнечной системѣ имѣются нѣкоторыя благопріятныя обстоятельства, которыя значительно упрощаютъ вопросъ о взаимныхъ возмущеніяхъ планетныхъ орбитъ, и только благодаря имъ возможно было достигнуть вышепри-

веденныхъ результатовъ.

Обстоятельства эти слѣдующія:

1) массы планетъ сравнительно ничтожны съ массой солнца,

2) плоскости орбитъ почти совпадаютъ,

3) орбиты планетъ незначительно отличаются отъ круговъ.

20. Открытiе Нептуна.

Надъ теорiей возмущенiй трудились величайшiе геометры, и эти труды не остались безъ результатовъ: величайшее и замѣчательнѣйшее открытiе прошлаго столѣтiя - открытiе Нептуна - сдѣлано по указанiю теорiи возмущенiй. Открытiе это произошло въ 1846 г. и исторiя его чрезвычайно любопытна и поучительна.

Древнiе знали планеты только до Сатурна включительно. Въ концѣ XVIII столѣтiя, когда планеты были изучены сравнительно лучше и достигнуты сравнительно точнѣйшiя познанiя планетныхъ возмущенiй, нѣкоторыя необъяснимыя неправильности въ возмущенiяхъ подали поводъ думать, что движенiе Сатурна возмущается нѣкоторой неизвѣстной планетой, обращавшейся въ обширной орбитѣ далеко за предѣлами Сатурна. Предположенiе это однако не привело ни къ какимъ важнымъ результатамъ, и только случайно Вильгельму Гершелю въ 1781 г. удалось открыть эту дотолѣ неизвѣстную планету, которую Гершель вначалѣ принялъ за комету. Планета названа была имъ

Georgium sidus, но названiе это не распространилось, а право гражданства получило названiе Уранъ.

Послѣ открытiя Урана скоро были найдены элементы его орбиты, и стало возможнымъ опредѣлять положенiя Урана въ будущемъ и прошедшемъ; изслѣдованiя прежнихъ положенiй Урана показали, что онъ былъ уже раньше наблюдаемъ нѣсколько разъ, но принимался за неподвижную звѣзду. На основанiи этихъ данныхъ въ 1821 г. Буваромъ въ Парижѣ были изданы исправленныя таблицы движенiй - Юпитера, Сатурна и Урана. Движенiя Юпитера и Сатурна представлялись по таблицамъ Бувара съ допустимой точностью, но положенiя Урана, вычисленныя по этимъ таблицамъ, значительно уклонялись отъ дѣйствительнаго положенiя Урана, и эти уклоненiя были столь значительныя, что не могли быть объяснены случайными ошибками наблюденiя или вычисленiя: уже въ первые два года по выходѣ таблицъ разность достигла значительной величины, а въ 1838 г. англiйскiй астрономъ Эйри нашелъ, что Уранъ отклонился отъ вычисленнаго для него пути на разстоянiе, почти равное лунному разстоянiю до земли.

Уклоненiя эти обратили на себя вниманiе астрономовъ, и критическое разсмотрѣнiе всѣхъ возможныхъ причинъ этого явленiя привело къ заключенiю, что на Уранъ дѣйствуетъ неизвѣстная еще планета. Разборъ предположенiй о томъ, гдѣ должна находиться эта планета, привелъ къ заключенiю, что она должна находиться за Ураномъ.

Теперь предстояло только по возмущенiямъ, производимымъ этой планетой на другiя, опредѣлить ея орбиту,

положеніе и массу.

За разрѣшеніе этого чрезвычайно сложнаго и запутаннаго вопроса по порученію Араго, директора Парижской обсерваторіи, взялся въ 1845 г. молодой ученый Леверрье, успѣвшій уже выказать силу своего математическаго знанія въ "Изслѣдованіяхъ о движеніи Меркурія", и блестяще выполнилъ задачу. Онъ представилъ результаты своихъ изслѣдованій въ 1846 г. Парижской Академіи Наукъ и предложилъ астрономамъ искать планету, производящую возмущенія Урана, въ мѣстѣ неба, довольно опредѣленно имъ указанномъ. Это небывалое еще въ исторіи науки предсказаніе скоро оправдалось.

Лаворрье, вычисливъ орбиту, положеніе и массу неизвѣстной планеты, написалъ своему другу Галле въ Берлинъ - Берлинская обсерваторія тогда была занята составленіемъ карты звѣздъ того участка, въ которомъ должна была находиться предполагаемая планета - прося посмотрѣть, не найдется ли искомая планета; Галле, получивъ письмо, въ тотъ же вечеръ направилъ телескопъ на указанное мѣсто неба, и имъ была открыта звѣзда восьмой величины, которая очевидно была искомой планетой, такъ какъ не находилась на весьма точной звѣздной картѣ, на которой обозначены были всѣ звѣзды упомянутой величины. Послѣдующія наблюденія показали, что это была дѣйствительно планета, столь удивительно - предсказанная Леверрье, отстоявшая менѣе, чѣмъ на одинъ градусъ отъ мѣста, указаннаго Леверрье.

Въ это же время въ Кембриджѣ молодой англійскій

ученый Адамсъ, допустивъ, что возмущенія Урана происходятъ отъ неизвѣстной планеты, вычислилъ, подобно Леверрье орбиту, массу и положеніе предполагаемой планеты и доложилъ объ этомъ королевскому астроному и профессору Чаллису. Послѣдній переслалъ рукопись Эйри. Тотъ былъ до такой степени пораженъ, что не хотѣлъ даже вѣрить: онъ самъ хотѣлъ убѣдиться въ точности вычисленій Адамса, и эта провѣрка заняла довольно много времени.

Чаллисъ же изслѣдовалъ область, указанную Адамсомъ, самымъ добросовѣстнымъ образомъ, но у него не было составлено звѣздной карты, поэтому онъ сразу не могъ судить о перемѣщеніи. Онъ принялся за обработку своихъ наблюденій, но не успѣлъ ихъ окончить, какъ во время вычисленій получилъ извѣстіе объ открытіи Галле. Впослѣдствіи оказалось, что Чаллисъ четыре раза наблюдалъ Нептунъ, но не зналъ объ этомъ.

Таблицы движеній Нептуна были составлены Ковальскимъ, профессоромъ Казанскаго университета, но онѣ устарѣли, и въ настоящее время пользуются таблицами, составленными Ньюкомбомъ.

Галле здравствуетъ еще и понынѣ; онъ живетъ въ Потсдамѣ у своего сына геодезиста.

Въ 1896 г. праздновалось 50-ти лѣтіе открытія Нептуна.

21. Опредѣленіе массъ небесныхъ тѣлъ.

Масса и средняя плотность солнца.

Если точка тяготѣетъ къ двумъ тѣламъ различныхъ

массъ, но находящимся на одинаковомъ разстояніи отъ нея, то тяготѣнія будутъ пропорціональны массамъ; если, слѣдовательно, сравнить эти тяготѣнія, то можемъ опредѣлить отношеніе массъ данныхъ тѣлъ.

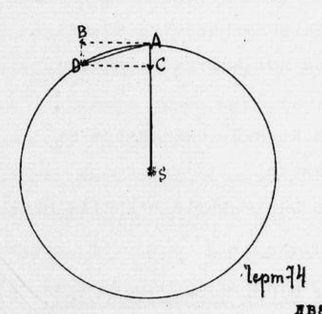
Мы знаемъ, что на экваторѣ сила тяготѣнія или измѣряющее ее удвоенное пространство, проходимое свободно падающимъ тѣломъ въ первую секунду паденія $g_0 = 9^m,7274$ при радіусѣ земли $r = 6378716^m$, который примемъ за единицу, и массѣ земли m, которую также примемъ за единицу.

Допустимъ, что точка находится на мѣстѣ солнца; тогда тяготѣніе ея къ землѣ по закону Ньютона будетъ:

$$\frac{g_0}{R^2} = \frac{9^m,7274}{(23307)^2}$$

гдѣ R разстояніе земли отъ солнца, если r принять къ единицу.

Вычислимъ, съ какой силой тяготѣетъ къ солнцу земля, массу которой мы приняли за единицу. Примемъ орбиту земли за кругъ (черт. 74) и пусть въ единицу времени земля перемѣстилась на разстояніе AD. Въ виду незначительности разсматриваемаго промежутка времени перемѣщеніе это можно принять за прямолинейное и разложить по правилу параллелограмма на два движенія по касательной AB направленію къ центру орбиты, то-есть къ солнцу. Если бы земля въ точкѣ A не имѣла стремленія двигаться по



Черт 74

касательной, то она стала бы падать къ солнцу и въ первую секунду времени прошла бы разстояніе AC; такимъ образомъ, если вычислимъ $2AC$, то эта величина и будетъ измѣрять силу тяготѣнія земли къ солнцу. Обозначая коэффиціентъ пропорціональности черезъ k и массу солнца черезъ M, будемъ имѣть:

$$2AC = k \cdot M;$$

точно также

$$\frac{g_0}{R^2} = k \cdot m$$

откуда, взявъ отношенія, находимъ:

$$\frac{M}{m} = 2AC : \frac{g_0}{R^2}$$

Но $\overline{AC} \cdot 2R = \overline{AD}^2$ гдѣ $\overline{AD}$ путь, проходимый землею въ 1^s звѣзднаго времени ($\smile AD$ принимается за хорду), такъ что

$$2\overline{AC} = \frac{\overline{AD}^2}{R} = \frac{4\pi^2 R^2}{T \cdot R} = \frac{4\pi^2 R}{T};$$

выражая R въ метрахъ и подставляя соотвѣтствующія значенія данныхъ величинъ, находимъ, что

$$\frac{M}{m} = \frac{4\pi^2 (23307)^2 \cdot 6378716}{(366,24 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)^2 \cdot 9,7274} = 327335.$$

Наивѣроятнѣйшее значеніе этого отношенія, если ввести поправки, будетъ 324439, такъ что, зная массу земли, легко вычислить и дѣйствительное значеніе массы солнца.

Зная отношенія массъ и радіусовъ тѣлъ, легко вычислить и отношеніе ихъ плотностей.

Въ самомъ дѣлѣ, обозначая объемъ тѣла черезъ v, плотность черезъ d, радіусъ черезъ ρ, массу черезъ m имѣемъ:

$$d = \frac{m}{v} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi\rho^3};$$

для другого тѣла

$$d' = \frac{m'}{\frac{4}{3}\pi\rho'^3}$$

откуд

$$\frac{d}{d'} = \frac{m}{m'} \cdot \frac{\rho'^3}{\rho^3}$$

Принимая среднюю плотность земли $d = 5,5$ средняя

плотность солнца, вычисленная по этой формулѣ, даетъ величину 1,37; такъ какъ вся наружная оболочка солнца вещество газообразное, то вышеприведенное значенiе плотности показываетъ, что въ центрѣ должны находиться вещества, болѣе плотныя.

Примѣняя эти же разсужденiя къ землѣ, поверхность которой большей частью покрыта водой плотности = 1, а плотность горныхъ породъ въ среднемъ = 2,3, находимъ, что плотность центральной части земли должна быть гораздо больше 5,5, то-есть тамъ должны находиться такъ называемые благородные металлы.

Опредѣленiе массъ небесныхъ тѣлъ по спутникамъ.

Дополненный третiй законъ Кеплера даетъ возможность опредѣлить массы тѣхъ небесныхъ тѣлъ, которыя имѣютъ спутниковъ.

Въ самомъ дѣлѣ, по этому закону имѣемъ:

$$\frac{a_1^3}{a^3} = \frac{t_1^2(M+m_1)}{t^2(M+m)}$$

гдѣ a_1 и a разстоянiя планетъ отъ солнца, t_1 и t ихъ времена обращенiй, m_1 и m массы планетъ, M-масса солнца.

Приложимъ этотъ законъ къ спутнику Юпитера, который обозначимъ ☾, и къ землѣ; будемъ имѣть

$$\frac{a_☾^3}{a_♁^3} = \frac{t_☾^2(m_♃+m_☾)}{t_♁^2(m_⊙+m_♁)},$$

откуда

$$m_♃+m_☾ = \frac{a_☾^3 t_♁^2(m_⊙+m_♁)}{a_♁^3 t_☾^2}$$

Очевидно, что точность опредѣленiя суммы массъ Юпитера и его спутника будетъ зависѣть отъ степени точности, съ какой вычислены величины, входящiя въ правую часть послѣдняго равенства. Изъ этихъ величинъ

$t_♁$ и $t_☾$ извѣстны съ величайшей точностью; напримѣръ, перiодъ обращенiя пятаго спутника Юпитера равенъ 11 часамъ, значитъ, если 100 обращенiй будутъ вычислены съ точностью до 1 секунды, то одинъ перiодъ съ точностью до 0,01 секунды. Разстоянiе отъ солнца до земли не измѣряется съ такой точностью, но зато отношенiе $\frac{a_☾}{a_♁}$ извѣстно гораздо точнѣе; $m_⊙$ и $m_♁$ тоже извѣстны съ достаточной точностью.

Такимъ образомъ, правая часть равенства извѣстна съ большой точностью.

Если бы изъ наблюденiй можно было вывести разность массъ этихъ тѣлъ, то массу Юпитера можно было бы опредѣлить съ большой точностью, но на основанiи слѣдующихъ соображенiй можемъ совсѣмъ отбросить массу спутника. Гипотически предполагаемъ, что планеты и ихъ спутники состоятъ изъ одного и того же вещества одинаковой средней плотности. Зная ихъ размѣры, приблизительно можно вычислить отношенiе массъ; оказывается, что, за исключенiемъ луны, массы спутниковъ планетъ въ сравненiи съ массами планетъ настолько малы, что безъ значительнаго ущерба для точности можно отбросить массу спутника.

Такимъ образомъ найдемъ, принимая $m_⊙$ за единицу, что

$$m_♃ = \frac{1}{1047 \pm 1{,}2}$$

Массы небесныхъ тѣлъ, не имѣющихъ спутниковъ и для которыхъ неизвѣстна величина силы тяжести на ихъ поверхности, выведены изъ возмущенiй, которыя эти тѣла производятъ въ движенiи кометъ, близко къ нимъ подхо-

Лит. Иконникова, П. ст. Б-Гребецкая 49-6. СПБ.

плотность солнца, вычисленная по этой формулѣ, даетъ величину 1,37; такъ какъ вся наружная оболочка солнца вещество газообразное, то вышеприведенное значеніе плотности показываетъ, что въ центрѣ должны находиться вещества, болѣе плотныя.

Примѣняя эти же разсужденія къ землѣ, поверхность которой большей частью покрыта водой плотности = 1, а плотность горныхъ породъ въ среднемъ - 2,3, находимъ, что плотность центральной части земли должна быть гораздо больше 5,5, то-есть тамъ должны находиться такъ называемые благородные металлы.

Опредѣленіе массъ небесныхъ тѣлъ по спутникамъ.

Дополненный третій законъ Кеплера даетъ возможность опредѣлить массы тѣхъ небесныхъ тѣлъ, которыя имѣютъ спутниковъ.

Въ самомъ дѣлѣ, по этому закону имѣемъ:

$$\frac{a_1^3}{a^3} = \frac{t_1^2(M+m_1)}{t^2(M+m)}$$

гдѣ a_1 и a разстоянія планетъ отъ солнца, t_1 и t ихъ времена обращеній, m_1 и m массы планетъ, M-масса солнца.

Приложимъ этотъ законъ къ спутнику Юпитера, который обозначимъ ☾, и къ землѣ; будемъ имѣть

$$\frac{a_{☾}^3}{a_{♁}^3} = \frac{t_{☾}^2(m_{♃}+m_{☾})}{t_{♁}^2(m_{\odot}+m_{♁})},$$

откуда

$$m_{♃}+m_{☾} = \frac{a_{☾}^3 t_{♁}^2 (m_{\odot}+m_{♁})}{a_{♁}^3 t_{☾}^2}$$

Очевидно, что точность опредѣленія суммы массъ Юпитера и его спутника будетъ зависѣть отъ степени точности, съ какой вычислены величины, входящія въ правую часть послѣдняго равенства. Изъ этихъ величинъ

$t_{♁}$ и $t_{☾}$ извѣстны съ величайшей точностью; напримѣръ, періодъ обращенія пятаго спутника Юпитера равенъ 11 часамъ, значитъ, если 100 обращеній будутъ вычислены съ точностью до 1 секунды, то одинъ періодъ съ точностью до 0,01 секунды. Разстояніе отъ солнца до земли не измѣряется съ такой точностью, но зато отношеніе $\frac{a_{☾}}{a_{♁}}$ извѣстно гораздо точнѣе; $m_{\odot}$ и $m_{♁}$ тоже извѣстны съ достаточной точностью.

Такимъ образомъ, правая часть равенства извѣстна съ большой точностью.

Если бы изъ наблюденій можно было вывести разность массъ этихъ тѣлъ, то массу Юпитера можно было бы опредѣлить съ большой точностью, но на основаніи слѣдующихъ соображеній можемъ совсѣмъ отбросить массу спутника. Гипотически предполагаемъ, что планеты и ихъ спутники состоятъ изъ одного и того же вещества одинаковой средней плотности. Зная ихъ размѣры, приблизительно можно вычислить отношеніе массъ; оказывается, что, за исключеніемъ луны, массы спутниковъ планетъ въ сравненіи съ массами планетъ настолько малы, что безъ значительнаго ущерба для точности можно отбросить массу спутника.

Такимъ образомъ найдемъ, принимая $m_{\odot}$ за единицу, что

$$m_{♃} = \frac{1}{1047 \pm 1,2}$$

Массы небесныхъ тѣлъ, не имѣющихъ спутниковъ и для которыхъ неизвѣстна величина силы тяжести на ихъ поверхности, выведены изъ возмущеній, которыя эти тѣла производятъ въ движеніи кометъ, близко къ нимъ подхо-

Лит. Иконникова, П. ст. Б-Гребецкая 49-б, СПБ.

дящихъ, но этотъ способъ значительно менѣе точенъ (± 100).

Ниже приводимъ наивѣроятнѣйшія значенія массъ планетъ:

Масса ☉ .... I; масса ♃ ... $\frac{1}{1047}$

" ☿ ... $\frac{1}{700000}$ " ♄ ... $\frac{1}{1530}$

" ♀ ... $\frac{1}{421150}$ " ♅ ... $\frac{1}{24000}$

" ♁ ... $\frac{1}{329000}$ " ♆ ... $\frac{1}{14400}$

" ♂ ... $\frac{1}{3093500}$

Отсюда мы видимъ, что планеты дѣлятся какъ бы на группы: до Марса и послѣ Марса; массы планетъ первой группы ничтожно малы въ сравненіи съ массой солнца; наибольшей массой обладаетъ земля.

Массы планетъ второй группы значительно больше; наибольшей массой обладаетъ Юпитеръ. Если взять всѣ планеты, за исключеніемъ Юпитера, и сдѣлать шаръ, то онъ будетъ меньше, чѣмъ Юпитеръ. Масса солнца въ 740 разъ превосходитъ сумму массъ всѣхъ планетъ.

Ч А С Т Ь II.

I. СОЛНЦЕ И ЯВЛЕНІЯ НА НЕМЪ ПРОИСХОДЯЩІЯ.

Солнце представляется намъ въ видѣ огненнаго, свѣтящагося шара; глазъ, ничѣмъ не вооруженный, вообще не можетъ переносить свѣта солнечнаго диска, и только на горизонтѣ - во время восхода и заката, или подъ облаками, когда лучи солнца достаточно ослаблены, можно выносить его блескъ

Видимый діаметръ солнца въ среднемъ = 31'3",6; онъ почти равенъ діаметру луны

До января 1610 года не имѣли никакого понятія о солнцѣ; существовало мнѣніе, что оно огненный шаръ - и только. Въ 1610 г. первый разъ Галилей направилъ телескопъ на солнце и увидѣлъ на свѣтящейся поверхности солнца - такъ наз. фотосферѣ - пятна.

Слѣдующее наблюденіе относится къ измѣненію яркости солнца по направленію отъ центра его къ краямъ. Если проектировать дискъ солнца на бѣлый листъ бумаги, то легко замѣтить, что въ серединѣ этотъ дискъ гораздо ярче, чѣмъ по краямъ. Кеплеръ объяснялъ это явленіе тѣмъ обстоятельствомъ, что вокругъ солнца имѣется не свѣтящаяся атмосфера, поглощающая лучи солнца и такъ какъ лучи, исходящіе изъ краевъ солнечнаго диска, должны пройти болѣе толстый слой атмосферы, то и поглощеніе тутъ будетъ больше. Это объясненіе потомъ было принято всѣми.

Наблюденія показали, что то же явленіе имѣетъ мѣсто для лучей невидимыхъ, соотвѣтствующихъ инфракрасной

и ультрафіолетовой частямъ спектра, т.е. для такъ наз. тепловыхъ и химическихъ лучей.

Предполагая, что количество всѣхъ этихъ лучей, испускаемыхъ центромъ, есть 100, получимъ слѣдующія числа для точекъ, находящихся въ различныхъ удаленіяхъ отъ центра, при чемъ эти удаленія выражены въ частяхъ радіуса:

Удаленіе	Тепловые лучи.	Свѣтовые лучи.	Химич.лучи.
0,00	100	100	100
0,125	-	99	100
0,25	99	99	98
0,50	95	91	90
0,85	-	69	48
0,95	-	55	25
1,00	50	37	13

СОЛНЕЧНЫЯ ПЯТНА. Что представляетъ изъ себя явленіе солнечныхъ пятенъ, на этотъ вопросъ полнаго отвѣта до сихъ поръ не имѣется, хотя въ этомъ вопросѣ и замѣчается удивительно быстрый прогрессъ. Причина, по которой трудно окончательно уяснить это явленіе - отдаленность солнца и связанная съ этимъ трудность наблюденія.

Въ настоящее время популярная литература по астрономіи очень богата, вопросъ о солнечныхъ пятнахъ - наиболѣе излюбленный популяризаторами, которые часто приводятъ уже отжившія гипотезы, но прежде, чѣмъ разсмотрѣть гипотезы о солнечныхъ пятнахъ, обратимся къ фактической сторонѣ вопроса.

Пятна (рис. I) не представляютъ правильной и

постоянной фигуры; очертанія ихъ угловаты, разорваны и быстро мѣняются. Въ каждомъ отдѣльномъ пятнѣ замѣчаются слѣдующія детали: центральная часть или ядро - всего темнѣе и окружено болѣе свѣтлой полутѣнью. Пятна только изрѣдка появляются одиночными; въ большинствѣ случаевъ они наблюдаются цѣлыми группами и окружены или одной общей полутѣнью или каждое пятно имѣетъ свое, окружающее его

Рис. 1.



полусвѣтлое кольцо.. Бывали случаи, что ядро пятна на глазахъ наблюдателя дѣлилось на два.

Пятна рѣдко бываютъ безъ полутѣней; только крошечныя пятна, такъ называемыя поры, въ большинствѣ случаевъ не имѣютъ полутѣней.

Величина пятенъ чрезвычайно различна; иногда даже въ трубу они представляются въ видѣ темныхъ точекъ безъ полутѣней; иногда же они покрываютъ пространство во много разъ большее нашей земли, и нерѣдко бываютъ видимы простымъ глазомъ; въ послѣднемъ случаѣ размѣръ

пятенъ не можетъ быть менѣе тройного поперечника земли. Бываютъ пятна, поперечникъ которыхъ равенъ I3-и земнымъ діаметрамъ (I70000 килом.)

Продолжительность существованія мельчайшихъ пятенъ или поръ не очень велика, между тѣмъ какъ большія пятна сохраняются иногда довольно долго, даже до полугода.

Пятна наблюдаются не по всей поверхности солнца а только въ полосѣ до 45^0 геліографической широты по обѣимъ сторонамъ экватора; главнымъ образомъ они расположены между 5^0 и 30^0 геліографическихъ широтъ, у самого экватора ихъ меньше. Наблюденія показываютъ что пятна стремятся отъ экватора къ полюсамъ и при приближеніи къ нимъ исчезаютъ.

Число солнечныхъ пятенъ не постоянно; наблюденія показываютъ, что въ явленіи пятенъ существуетъ несомнѣнная періодичность. Бываютъ годы, когда пятна на солнцѣ составляютъ рѣдкость, затѣмъ число ихъ изъ года въ годъ увеличивается и достигаетъ нѣкоторой наибольшей величины; послѣ этого снова начинается уменьшеніе числа пятенъ.-

Приведемъ числовыя данныя относительно количества пятенъ въ разные года:

Года	Число дней безъ пятенъ	Число новыхъ образо ваній.	Среднее число сек. возмущ. магн. стрѣлки
I828	0	225	I4",7
I833	I39	33	
I837	0	333	I2",3
I843	I49	34	7",I
I848	0	330	II",2
I856	I93	34	6",0
I860	0	2II	I0",I
I867	I95	25	7",7

Если выписать годы по порядку, то числа, выражающія дни безъ пятенъ, мѣняются непрерывно.. Періодъ отъ одного *maximum'а* до другого обнимаетъ II$\frac{1}{3}$ года, при чемъ увеличеніе числа пятенъ идетъ быстрѣе, чѣмъ уменьшеніе, а именно, въ отношеніи 4 : 7, такъ что отъ *minimum'а* до *maximum'а* проходятъ 4 года, а отъ *maximum'а* до *minimum'а* 7 лѣтъ.

Когда число дней безъ пятенъ равно нулю, возмущенія магнитной стрѣлки большія, когда же число новообразованій мало, колебанія магнитной стрѣлки сравнительно небольшія. Число полярныхъ сіяній также увеличивается съ увеличеніемъ числа солнечныхъ пятенъ.

Замѣчено, что солнечныя пятна зарождаются у экватора и движутся къ полюсамъ, при чемъ угловая скорость вращенія уменьшается; угловая скорость вращенія можетъ быть выражена формулой:

$\omega_\lambda = a - b\sin^2\lambda$, гдѣ λ - геліоцентр. широта

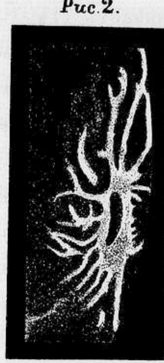
Съ увеличеніемъ широты второй членъ правой части увеличивается, а значитъ, ω_λ уменьшается, такъ что экваторъ вращается скорѣе, а полюсы медленнѣе; періодъ вращенія экватора = 25^д, а для полюсовъ 27^д - 28^д

Замѣчено также, что пятна имѣютъ спиральное строеніе, при чемъ на сѣверномъ полушаріи спираль закручи-

вается противъ часовой стрѣлки, а въ южномъ по часовой стрѣлкѣ.

Нужно принять во вниманіе еще то обстоятельство, что при приближеніи къ солнечному краю ядро пятна со стороны, обращенной къ серединѣ солнца, дѣлается все уже и наконецъ совершенно исчезаетъ (рис.2)

Рис.2.



Если наблюдать пятно гла-зомъ или проектировать его на бѣлый экранъ, то ядро кажется абсолютно чернымъ, но это только субъективное впечатлѣніе вслѣдствіе чрезвычайной яркости солнца. Если удалить какимъ нибудь образомъ блескъ солнца, то пятна заблестѣли бы очень ярко. По Ланглею, тѣнь пятна испускаетъ количество свѣта, по крайней мѣрѣ въ 5000 разъ болѣе, чѣмъ равная площадь полной луны. Если бы можно тѣнь солнечнаго пятна помѣстить на ночномъ небѣ, то оно оказалось бы самымъ яркимъ свѣтиломъ.

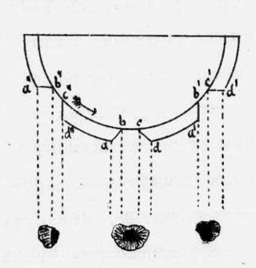
Приведемъ теперь нѣсколько гипотезъ, построенныхъ учеными для объясненія явленія солнечныхъ пятенъ. Въ началѣ прошлаго столѣтія имѣла большой успѣхъ гипотеза Вильсона, развитая и поддерживаемая знаменитымъ Гершелемъ.-

Гершель предполагалъ, что солнце состоитъ изъ темнаго и твердаго ядра, окруженнаго двумя свѣтящими-

ся поверхностями; ближайшая къ ядру поверхность - поверхность полутѣни, менѣе свѣтлая чѣмъ самая внѣшняя оболочка - фотосфера.

Эти поверхности въ нѣкоторыхъ мѣстахъ разрываются, образуя воронкообразное углубленіе abcd (черт.75) которое намъ представляется въ видѣ пятенъ, углубленіе это ограничено покатыми краями ab и cd.

По мѣрѣ того, какъ пятно подвинется къ западу, мы увидимъ, что ядро его будетъ приближаться къ восточной полутѣни и въ положеніи a'b'c'd' оно съ ней совершенно сольется. Подобное явленіе замѣчается и при движеніи пятна къ востоку. Здѣсь только ядро совпадаетъ съ западной полутѣнью въ положеніи a''b''c''d''



Черт.75

Гипотеза эта, въ свое время объяснявшая достаточно хорошо извѣстныя явленія, въ настоящее время не выдерживаетъ критики и имѣетъ только историческое значеніе. Въ самомъ дѣлѣ, предположеніе, что солнечное ядро есть твердое и темное тѣло, противорѣчитъ массѣ извѣстныхъ въ настоящее время явленій; главнымъ образомъ плотность солнца, которая, какъ извѣстно, равна 1¼, склоняетъ насъ въ пользу жидкаго или даже газообразнаго состоянія солнца.

Являются непонятными и безпричинныя передвиженія пятенъ по солнечной поверхности.

Гипотеза Целльнера основана на связи солнечныхъ пятенъ съ земнымъ магнетизмомъ. При маломъ количествѣ пятенъ магнитная стрѣлка направлена въ плоскости меридіана и остается въ покоѣ, но когда на солнцѣ maximum пятенъ, то и на землѣ соотвѣтственно появляется maximum сѣверныхъ сіяній и магнитныхъ бурь - быстрыхъ колебаній стрѣлки въ ту и другую сторону.

Целльнеръ хотѣлъ одухотворить эту связь и построилъ слѣдующую гипотезу о солнечныхъ пятнахъ.

Онъ предполагаетъ, что пятно, вліяющее на земной магнетизмъ, само обладаетъ магнитными свойствами. Спектральныя изслѣдованія убѣждаютъ насъ, что въ массѣ солнца находится нѣкоторое количество желѣза. Целльнеръ говоритъ, что пятна состоятъ главнымъ образомъ изъ желѣза, не находящагося въ парообразномъ состояніи. Поверхность солнца есть расплавленная жидкая масса. На этомъ огненно-жидкомъ океанѣ въ видѣ плавучихъ островов появляются, претерпѣваютъ видоизмѣненія и исчезаютъ пятна. Это суть ничто иное, какъ охлаждающаяся, отвердѣвающая, такъ сказать, замерзающая верхняя часть расплавленной массы, т.е. то, что на поверхности расплавленнаго металла мы называемъ шлаками.

Поверхъ такого острова атмосфера охлаждается и растекается по радіусамъ отъ центра къ краямъ. Какъ только эта атмосфера коснулась пятна, образуются продолговатыя облака, видимыя съ земли, какъ полутѣни. Нисходящія теченія солнечной атмосферы согрѣ-

ваютъ пятно и мало по малу растопляютъ его.

Понятно, что пятна, состоящія изъ магнитнаго желѣзняка, должны оказывать вліяніе на земныя магнитныя явленія.

По этой гипотезѣ приходится допустить, что поверхность солнца жидкая, и на ней острова изъ желѣза; такъ какъ желѣзо - одинъ изъ болѣе тяжелыхъ металловъ, то это допущеніе противорѣчитъ плотности солнца (I¼).

Слѣдуя этой гипотезѣ, не можемъ также понять необходимости образованія пятенъ въ узкой полосѣ около экватора и совершенное отсутствіе ихъ въ другихъ, удаленныхъ отъ экватора мѣстахъ.

Французскій ученый Фай (Faye) далъ болѣе вѣроятное объясненіе солнечныхъ пятенъ. На основаніи внѣшняго вида пятенъ Фай утверждаетъ, что это - явленіе метеорологическое и есть слѣдствіе циклоническихъ движеній на солнечной поверхности. Каждое видимое нами пятно есть мѣсто вихреобразнаго движенія атмосферы солнца.

Какъ на землѣ циклоны, зарождаясь на экваторѣ, движутся къ полюсамъ, гдѣ и исчезаютъ, такъ, предполагаетъ Фай, и на солнцѣ пятна, появляясь на экваторѣ, перемѣщаются къ полюсамъ, до нѣкоторыхъ предѣльныхъ параллелей, составляющихъ границу ихъ движенія. Вращательное движеніе и вообще движеніе газообразныхъ тѣлъ можетъ вызывать индуктивные электрическіе токи, а металлическіе газы могутъ вызвать цѣлый рядъ индуктивныхъ токовъ, дѣйствующихъ на земныя явленія.

На землѣ циклоны происходятъ отъ нарушенія равновѣсія атмосферы; такія же нарушенія могутъ происходить и на солнцѣ вслѣдствіе лучеиспусканія; такъ какъ на землѣ причина зарожденія циклоновъ внѣшняя, то понятно, что они могутъ зарождаться только у экватора; на солнцѣ же причина мѣстная, и остается невыясненнымъ, почему пятна зарождаются предпочтительно у экватора и остаются въ узкой полосѣ, къ ней прилежащей.

Точно также ни одна гипотеза не объясняетъ удовлетворительно періодичности солнечныхъ пятенъ; вообще нужно замѣтить, что періодичность - камень преткновенія всѣхъ гипотезъ.

Рис. 3.

Вокругъ солнечныхъ пятенъ ясно видны свѣтлыя, змѣевидныя полоски - это такъ называемые солнечные факелы или свѣточи (рис.3), которые особенно ярки у края солнечнаго диска; такъ какъ край солнечнаго диска темный, поэтому они и выдѣляются лучше. Факелы имѣютъ чрезвычайно разнообразный видъ; большей частью они появляются въ тѣхъ полосахъ солнца, которыя богаты большими пятнами. Число свѣточей измѣняется соотвѣтственно числу пятенъ, но зависимость

между факелами и пятнами еще не уяснена вполнѣ точно. Обыкновенно послѣ появленія факеловъ черезъ нѣсколько дней образуется между ними группа пятенъ. Спектръ ихъ соотвѣтствуетъ парамъ кальція.

Директоръ обсерваторіи Іеркеса Хэль (George Hale) изобрѣлъ спектроскопъ съ двумя щелями, дающій возможность фотографировать монохроматическій свѣтъ, вслѣдствіе чего является возможность изслѣдовать образованія на всей солнечной поверхности. Хэль прикрѣплялъ спектроскопъ къ окуляру телескопа и изъ полученнаго такимъ образомъ спектра пропускалась сквозь вторую щель часть, соотвѣтствующая парамъ кальція. Позади второй щели помѣщалась фотографическая пластинка, на которую могъ такимъ образомъ падать свѣтъ только отъ этой части спектра, то есть монохроматическій свѣтъ. Инструментъ и пластинка передвигались такимъ образомъ, что всѣ точки солнечнаго диска дѣйствовали одна за другой на пластинку только одной частью спектра; понятно, гдѣ не было факеловъ, тамъ не было и соотвѣтствующихъ линій, дѣйствующихъ на пластинку.

Астрофизикъ Стратоновъ опредѣлилъ скорость вращенія солнца по факеламъ и пришелъ къ тому же выводу, какъ и Фай, а именно, что періодъ обращенія солнца у экватора меньше, чѣмъ у полюсовъ.

Кромѣ солнечныхъ пятенъ и свѣточей наблюдается вообще зернистое строеніе фотосферы.

Если взять рефракторъ (отъ 4 дюймовъ до 9 д. въ діаметрѣ) и проектировать солнечную поверхность на бѣлый экранъ, то оказывается, что фотосфера имѣетъ

различный оттѣнокъ и покрыта какъ бы мелкими зернами, разсѣянными по всей поверхности; это такъ называемыя рисовыя зерна или грануляціи.

Патеръ Секки говоритъ, что это явленіе похоже на "разваръ бѣлаго риса на бѣлой скатерти", а Гершель - на "простоквашу съ сывороткой безъ сметаны".

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ рисовыя зерна наиболѣе скучены; размѣры ихъ не превосходятъ 10".

Ганскій изучалъ грануляцію путемъ фотографіи; снимки съ промежуткомъ въ одинъ день не дали сходства; точно также не нашлось сходства въ снимкахъ, снятыхъ черезъ 1 м. и даже черезъ 10 минутъ. Ганскій пришелъ къ заключенію, что 5 секундъ - предѣльный промежутокъ, въ теченіе котораго можно узнать зерна. Такимъ образомъ, зерна измѣняются въ теченіе нѣсколькихъ секундъ.

Перейдемъ теперь къ явленіямъ, происходящимъ въ окрестностяхъ солнца.

До 1842 г. никто не имѣлъ понятія о явленіяхъ происходящихъ вблизи солнца, хотя древніе писатели и упоминаютъ объ огняхъ, которые какъ бы внезапно вырывались изъ солнца въ моментъ его полнаго затменія, но научныя наблюденія стали производиться только съ середины прошлаго столѣтія.

Въ 1842 г., во время полнаго солнечнаго затменія, когда луна совершенно закрыла солнце, на краяхъ послѣдняго усмотрѣнъ былъ свѣтлый вѣнецъ, окружающій въ видѣ ореола солнечный дискъ (рис. 4) и придающій ему ту чрезвычайную красоту, о которой съ такимъ во-

сторгомъ отзываются всѣ наблюдатели.

Рис. 4.



Это такъ называемая солнечная корона. Кромѣ того, тогда же замѣчены были тамъ и сямъ розовые придатки, выступы, похожіе на языки пламени. Эти выступы, или такъ называемые протуберанцы, сіяли настолько ярко, что виднѣлись черезъ темныя стекла и въ нѣкоторыхъ мѣстахъ были различаемы невооруженными глазами безъ помощи трубы.

Солнечная корона не имѣетъ круглой формы, вообще не имѣетъ никакого опредѣленнаго контура, можно сказать, что она скорѣе квадратная, чѣмъ круглая, при чемъ углы квадрата соотвѣтствуютъ 45° геліографической широты. Основаніе короны свѣтлѣе, чѣмъ внѣшняя ея часть, цвѣтъ ея серебристо-бѣлый.

Долго не могли рѣшить вопроса, принадлежитъ ли корона дѣйствительно солнцу, или это есть просто оптическое явленіе. До сихъ поръ не удалось разъяснить многихъ вопросовъ, являющихся при разсмотрѣніи короны, такъ какъ послѣдняя наблюдается только во время полнаго солнечнаго затменія, а продолжительность таковаго maximum 6 минутъ, чаще всего 2-3 мин.; такъ что если сложить промежутки времени, въ теченіе которыхъ производились наблюденія, то не получится и

получаса.

Если рисовать солнечную корону, то каждый наблюдатель придаетъ ей своеобразный видъ.

Въ 1878 г. линія полнаго солнечнаго затменія прошла черезъ всѣ Соединенные Штаты, и тогда рѣшили убѣдиться, субъективное или объективное это явленіе. Послѣ отчета оказалось, что всѣ нарисованныя короны отличались одна отъ другой, но были получены и фотографическіе снимки, которые показали, что явленіе это несомнѣнно реальное.

Фотографическіе снимки, произведенные въ 1887 году во время полнаго солнечнаго затменія, прошедшаго по Россіи и Сибири, а также изслѣдованія 1895, 96 и 97 годовъ не оставили никакого сомнѣнія, что явленіе это реальное.

Явленіе солнечной короны находится въ зависимости отъ количества солнечныхъ пятенъ: во время maximum'а солнечныхъ пятенъ наблюдается пышная солнечная корона, во время же minimum'а - явленіе это значительно слабѣе.

Солнечная корона прозрачна, свѣтится; она не принадлежитъ къ солнечной атмосферѣ, и если принадлежитъ, то ея состояніе другое, чѣмъ состояніе выступовъ.

Поляриметръ показываетъ, что свѣтъ солнечной короны - отраженный отъ какихъ-то частицъ. Спектральныя изслѣдованія показали, что въ составъ короны входитъ неизвѣстный до сихъ поръ на землѣ элементъ, дающій особую линію въ спектрѣ, и называемый въ

честь короны - короніумомъ.

Кометы 1843, 1880 и 1882 годовъ подошли такъ близко къ солнцу, что почти коснулись его; онѣ вполнѣ погрузились въ солнечную корону и вышли оттуда повидимому, ничуть не измѣнившимися.

Падающія звѣзды, летящія со скоростью, не превышающей 72 килом. въ секунду, уже на высотѣ 200 кил. надъ поверхностью земли, встрѣчая атмосферу, накаливаются и разлетаются въ прахъ. На высотѣ 200 кил. атмосфера чрезвычайно разрѣжена, но впечатлѣніе получается такое, какъ будто падающая звѣзда ударяется о что-то твердое; внѣшняя оболочка вслѣдствіе тренія нагрѣвается и не успѣвъ передать тепло внутреннимъ частямъ, разрывается.

Комета 1843 г. прошла съ громадной скоростью 750 километровъ въ секунду мимо солнца на разстояніи только ½ радіуса солнца; такъ какъ сопротивленіе возрастаетъ пропорціонально квадрату скорости движущагося тѣла, то плотность солнечной короны, въ 100 разъ меньшая, чѣмъ плотность нашей атмосферы на высотѣ - 200 кил., вызвала бы такое же явленіе, какъ наша атмосфера съ падающими звѣздами, и комета не вышла бы изъ солнечной короны, между тѣмъ наблюдается обратное явленіе: комета выходитъ изъ солнечной короны, какъ будто не произошло никакого измѣненія.

Какъ впослѣдствіи узнаемъ, кометы состоятъ изъ собранія мельчайшихъ частицъ космической пыли. Единственное научное предположеніе то, что и корона есть

ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. СТ. Б-ГРЕБЕЦКАЯ 49-6. СПБ.

собраніе твердыхъ частичекъ, которыя обращаются по тѣмъ или другимъ кривымъ. Тогда при прохожденіи кометы черезъ солнечную корону возможны слѣдующія предположенія:

1) ни одна частица кометы не столкнется съ частицей короны; комета выйдетъ безъ всякаго измѣненія;

2) каждая частица кометы столкнется съ частицей короны; комета упадетъ на солнце;

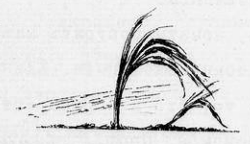
3) часть частицъ столкнется, а часть выйдетъ безъ столкновенія; тогда часть кометныхъ частицъ упадетъ на солнце, а остальныя будутъ двигаться дальше, такъ какъ онѣ независимы другъ отъ друга; понятно, что этотъ случай самый вѣроятный.

На основаніи этого можемъ предвидѣть, что каждый разъ, когда комета проходитъ такъ близко около солнца, что попадаетъ въ ея корону, она должна постепенно блекнуть.

Дѣйствительно, комета Энке, сравнительно близко подходящая къ солнцу, блекнетъ съ каждымъ оборотомъ.

Рис. 5.





Какъ мы уже упоминали, въ томъ же 1842 г. были наблюдаемы и солнечные выступы (рис. 5). Когда впервые увидѣли эти выступы, то не знали, чему они принадлежатъ. Были высказаны разныя гипотезы;

нѣкоторые высказывали мнѣніе, что это лунныя вулканическія изверженія, которыя видны вслѣдствіе затемнѣнія, другіе - что это огненныя изверженія солнца.

Вопросъ этотъ былъ рѣшенъ окончательно наблюденіями, произведенными въ 1860 г. во время полнаго солнечнаго затменія въ Испаніи. Измѣренія высотъ этихъ розовыхъ выступовъ показали, что послѣдніе не слѣдуютъ за дискомъ луны; ихъ видимая длина уменьшается въ той части солнечнаго края, на который наступаетъ луна и въ то же время увеличивается въ сторонѣ, діаметрально противоположной. Отсюда можно вывести заключеніе, что съ одной стороны они закрываются луною, а съ другой изъ подъ нея выступаютъ; нѣтъ сомнѣнія поэтому, что протуберанцы принадлежатъ солнцу, но не суть солнечныя горы, что доказываетъ ихъ быстро измѣняющаяся форма.

Въ это самое время зародился спектральный анализъ, наблюденія показали, что выступы даютъ водородныя линіи. Такимъ образомъ, оказалось, что выступы - свѣтящаяся матерія, состоящая изъ водорода.

Въ 1868 г. было полное солнечное затменіе въ Индіи и Сіамѣ. Туда были отправлены экспедиціи для спектроскопическихъ изслѣдованій короны и протуберанцевъ. Счастливѣе всѣхъ былъ французскій астрономъ Жансенъ, находившійся въ Индіи въ такихъ мѣстахъ, гдѣ воздухъ былъ чрезвычайно спокоенъ и прозраченъ. Направивъ спектроскопъ на огромный протуберанцъ, явившійся послѣ того, какъ исчезъ послѣдній лучъ солнца, Жансенъ замѣтилъ, что спектръ этого протуберанца со-

стоитъ изъ свѣтлыхъ линій раскаленнаго водорода. Жансену пришла счастливая мысль, что эти линіи, такъ какъ онѣ довольно свѣтлы, могутъ быть видимы и послѣ затменія; онъ рѣшилъ смотрѣть за протуберанцами возможно дольше, и это ему удалось. Дни и недѣли послѣ затменія показали, что линіи протуберанцевъ могутъ быть видимы во всякое время въ достаточно сильный спектроскопъ и при совершенно ясномъ небѣ.

Это важное открытіе было сдѣлано, независимо отъ Жансена, англійскимъ ученымъ Норманомъ Локьеромъ. Локьеръ пришелъ къ заключенію, что спектръ выступовъ можетъ быть виденъ во всякое время при помощи достаточно сильнаго спектроскопа, если только вещество, изъ котораго состоятъ протуберанцы, есть самосвѣтящійся газъ, спектръ котораго, какъ извѣстно, состоитъ изъ немногихъ свѣтлыхъ линій.

Локьеръ сообщилъ свой способъ изслѣдованія протуберанцевъ Лонденскому Кор.Обществу много раньше затменія 1868 г., а именно, въ 1866 г., и дѣлалъ относящіяся къ этому опыту приготовленія, но такъ какъ у него не было вполнѣ удовлетворительныхъ инструментовъ, то онъ и не пришелъ къ желаемому результату. Воспользовавшись же новымъ сильнымъ инструментомъ и не зная еще о наблюденіяхъ Жансена, онъ сдѣлалъ самостоятельно это важное открытіе. Направивъ спектроскопъ на край солнца 20 Окт. 1868 г., Локьеръ нашелъ въ спектрѣ солнца три свѣтлыхъ линіи, изъ которыхъ двѣ принадлежали водороду.

Вслѣдствіе случайнаго совпаденія, отчеты Локьера

и Жансена были выслушаны въ одномъ и томъ же засѣданіи Парижской Академіи Наукъ въ 1868 г. Французское правительство выбило въ честь ихъ обоихъ медаль съ ихъ портретами.

Спустя нѣсколько мѣсяцевъ, Целльнеру и Геггинсу удалось при полномъ солнечномъ свѣтѣ съ желаемой отчетливостью видѣть не только линіи протуберанцевъ, но и очертанія самыхъ образованій.

Эта возможность всегда видѣть форму выступовъ является вслѣдствіе того, что солнечный спектръ есть непрерывный, спектръ же выступовъ состоитъ изъ немногихъ свѣтлыхъ линій.

Вводя въ спектроскопъ много призмъ, мы увеличимъ разсѣяніе свѣта; непрерывный спектръ отъ этого значительно ослабѣетъ; линіи спектра протуберанцевъ только удалятся одна отъ другой, но не ослабятся. Если раздвинуть щель, то линіи расширятся, но не будутъ проектироваться одна на другую. Только тамъ, гдѣ черезъ щель дѣйствительно падаетъ свѣтъ отъ протуберанцевъ, полоса, соотвѣтствующая линіи, будетъ казаться свѣтлой; во всѣхъ другихъ мѣстахъ она окажется темной. Слѣдовательно, если двигать щель параллельно себѣ по радіусу солнца, то каждая полоса будетъ давать изображеніе протуберанца соотвѣтствующаго цвѣта, и ихъ можно срисовывать.

Этимъ способомъ въ настоящее время ежедневно изслѣдуются протуберанцы вдоль всего солнечнаго края и получаются изъ изображенія.

Можно также отыскивать протуберанцы при по-

мощи спектроскопа съ двумя щелями. Старательное разсмотрѣніе выступовъ приводитъ къ мысли (патеръ Секки) раздѣлить ихъ на два главныхъ типа: къ одному относятся образованія парообразныя или облакообразныя, къ другому - подъемы массъ, имѣющіе видъ изверженій.

Облакообразные выступы образуются медленно, плавно измѣняютъ свою форму и существуютъ иногда довольно долго. Формы ихъ чаще всего напоминаютъ наши кучевыя облака, они часто между собою переплетаются и образуютъ причудливыя арки и своды.

Что касается до второго вида выступовъ - такъ называемыхъ эруптивныхъ, то формы ихъ чрезвычайно разнообразны. Къ самымъ замѣчательнымъ принадлежатъ тѣ, которыя имѣютъ фигуры остроконечныхъ, туда и сюда изогнутыхъ иглъ, лучей и стрѣлъ. Они такъ блестящи, что могутъ быть видимы черезъ облака нашей атмосферы.

Распредѣлены выступы по всей поверхности, но чаще всего въ экваторіальной полосѣ ($\pm 45^{o}$ геліогр. шир.) Число ихъ мѣняется также періодически, какъ число солнечныхъ пятенъ и свѣточей въ теченіе $11\frac{1}{9}$ лѣтъ. Размѣры солнечныхъ выступовъ громадны; иногда умѣщается 10-12 земныхъ радіусовъ въ одномъ выступѣ.

Резюме. Слой солнечной массы, который служитъ главнымъ источникомъ лучистой энергіи, называется фотосферой; онъ окруженъ оболочкой небольшой толщины, содержащей водородъ и металлы въ парообразномъ состояніи; температура ея ниже температуры

фотосферы и въ ней происходитъ поглощеніе лучей, вызывающее появленіе одной части фраунгоферовыхъ линій. За этимъ слоемъ слѣдуетъ хромосфера, состоящая главнымъ образомъ изъ водорода и гелія. Черезъ нее прорываются, увлекая ее съ собою, тѣ изверженія, которыя наблюдаются на краю солнца въ видѣ солнечныхъ протуберанцевъ. Надъ хромосферой распространяется корона.

2. Неподвижныя звѣзды.

Уже съ самыхъ древнихъ временъ человѣкъ обращалъ вниманіе на чудную картину, представлявшуюся ему каждую ночь: впервые его вниманіе привлекала луна, величаво блестящая на темно-синемъ небосклонѣ; долго оставались загадкою всѣ чудныя измѣненія, которымъ подвергалось это свѣтило. Слѣдя далѣе за постепеннымъ развитіемъ астрономическихъ знаній и останавливаясь на нѣкоторой эпохѣ, болѣе отдаленной отъ первобытнаго наблюдателя, мы видимъ уже человѣка, съ любопытствомъ слѣдящаго за измѣненіями и сложными движеніями планетъ. Но долго послѣ этого неподвижныя звѣзды оставались для него только предметомъ простого любопытства, а глядя на нихъ и не замѣчая никакого движенія, никакого измѣненія, онъ обращался къ другимъ предметамъ, приковывающимъ его вниманіе болѣе выдающимися событіями. Только въ XVIII в. Галлею удалось открыть собственное движеніе неподвижныхъ звѣздъ; эти движенія такъ малы, что со временъ Гип-

парха наибольшее перемѣщенiе равно двумъ луннымъ дiаметрамъ.

Первое, что бросилось въ глаза наблюдателю - это фактъ, что звѣзды въ различныхъ мѣстахъ небесной сферы образуютъ нѣкоторыя правильныя группы, отличающiяся какъ постоянной формою, такъ и относительнымъ количествомъ звѣздъ; онъ назвалъ звѣзды "неподвижными", а группы звѣздъ - созвѣздiями. x)

Каждому созвѣздiю давалось названiе героя или животнаго, однако нужно замѣтить, что только въ исключительныхъ случаяхъ звѣзды своимъ расположенiемъ напоминаютъ тотъ предметъ, которымъ созвѣздiе называлось.

Мы не имѣемъ никакихъ историческихъ свѣдѣнiй о томъ, когда небо впервые было раздѣлено на созвѣздiя и какъ происходила группировка звѣздъ, однако, судя по названiю созвѣздiй, есть основанiе предполагать, что группировка относится къ различнымъ перiодамъ.

Въ общемъ можно сказать, что небо въ своихъ созвѣздiяхъ представляетъ отпечатокъ цивилизацiи.

Зодiакальныя созвѣздiя, какъ-то: Водолей, Рыбы, Дѣва, Вѣсы - указываютъ на переходъ человѣка отъ кочевого состоянiя къ осѣдлому и земледѣльческимъ занятiямъ.

Въ зависимости отъ положенiя солнца разливался Нилъ и разносилъ плодородный илъ по его долинѣ: на небѣ появлялось созвѣздiе, названное Водолеемъ, при

----

x) С.П.Глазенапъ. Друзьямъ и любителямъ астрономiи.

спадѣ водъ наступалъ обильный уловъ рыбы - на небѣ красовалось созвѣздiе Рыбъ. Затѣмъ, когда наступало время жатвы хлѣба, человѣкъ помѣстилъ на небѣ созвѣздiе Дѣвы съ серпомъ въ одной - и колосомъ въ другой рукѣ. Когда жатва окончена, хлѣбъ обмолоченъ, и зерно засыпано въ закромы, хозяева должны обмѣрить и взвѣсить урожай - мы видимъ на небѣ созвѣздiе Вѣсовъ. По окончанiи жатвы, когда всеобщее довольство приводило людей въ умиленiе, они позволяли себѣ отдохновенiе отъ тягостныхъ трудовъ и даже забавы въ видѣ охоты за дикимъ звѣремъ - мы видимъ на небѣ созвѣздiе Стрѣльца и дикихъ звѣрей - Льва большого и малаго, Рыси, Лисички, Волка, Большой Медвѣдицы, Малой Медвѣдицы и пр. Происхожденiе всѣхъ этихъ созвѣздiй могло быть однако и другое.

Названiя другихъ созвѣздiй, какъ напр., Персей, Кассiопея, Цефей, Геркулесъ, Драконъ и пр., относятся очевидно къ героическому времени древнихъ.

Съ развитiемъ мореплаванiя, когда человѣкъ рѣшился отдаляться отъ береговъ материка въ открытое море, и когда онъ, перейдя земной экваторъ, вступилъ въ южное полушарiе, передъ нимъ открылись новыя - звѣздныя красоты, прежде ему неизвѣстныя. Пораженные величiемъ океана и красотами южнаго неба, первые мореплаватели выдѣлили въ южномъ небѣ обширнѣйшую группу звѣздъ въ отдѣльное созвѣздiе и назвали его Кораблемъ.

Затѣмъ при болѣе частыхъ посѣщенiяхъ южнаго полушарiя, южное небо было раздѣлено на созвѣздiя, кото-

рыя названы предметами современной цивилизаціи: Секстанъ, Типографскій станокъ, Электрическая машина, Воздушный насосъ и т.д.

Кромѣ созвѣздій, на небѣ разсѣяно много отдѣльныхъ звѣздъ, неимѣющихъ никакго названія и опредѣляющихся, какъ и вообще всѣ звѣзды, прямымъ восхожденіемъ и склоненіемъ, такъ напр., говорятъ $AR = 2^h 38^m 19^s$; Decl. $= +27^\circ 5' 22''$ - и этимъ обозначаютъ положеніе нѣкоторой звѣзды на небесной сферѣ для нѣкоторой эпохи.

Нѣкоторыя звѣзды очень яркія, носятъ особыя названія, какъ-то: Сиріусъ, Вега, Капелла и др.

Всѣ звѣзды, видимыя простымъ глазомъ, дѣлятся на величины или классы въ зависимости отъ кажущагося ихъ блеска такимъ образомъ, что самыя яркія причисляются къ первому классу и называются звѣздами - первой величины; слѣдующія за ними по яркости - ко второму, третьему и т.д. классу; самыя слабыя относятся къ шестому классу и называются звѣздами шестой величины. Точно также и телескопическія звѣзды дѣлятся на классы; самыя яркія изъ нихъ причисляются къ седьмому классу, слѣдующія затѣмъ къ восьмому и т.д.

Новѣйшія фотометрическія изслѣдованія показали, что отношеніе блеска двухъ смежныхъ классовъ есть величина постоянная, то-есть блескъ звѣзды первой величины во столько разъ больше блеска звѣзды второй величины, во сколько разъ этотъ послѣдній больше блеска звѣзды третьей величины и т.д.

Этотъ законъ можетъ быть выраженъ слѣдующей геометрической прогрессіей, знаменатель отношенія которой $= \delta$.

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{h_3}{h_2} = \frac{h_4}{h_3} = \frac{h_5}{h_4} = \frac{h_6}{h_5} = \delta$$

гдѣ $h_1, h_2 \dots h_6$ обозначаютъ блескъ звѣздъ перваго, второго и т.д. классовъ.

Отсюда получаемъ

$$h_2 = h_1\delta$$
$$h_3 = h_2\delta$$
$$\dots\dots$$
$$h_6 = h_5\delta$$

или вообще

$$h_i = h_{i-1}\delta \quad \text{и} \quad h_{i-1} = \frac{h_i}{\delta}.$$

Далѣе мы получаемъ:

$$h_2 = h_1\delta$$
$$h_3 = h_1\delta^2$$
$$h_4 = h_1\delta^3$$
$$\dots\dots$$
$$h_6 = h_1\delta^5$$

или вообще $h_i = h_1\delta^{i-1}$

Положивъ $h_1 = 1$, получаемъ слѣдующія выраженія для относительнаго блеска звѣздъ первыхъ шести классовъ:

$$h_1 = 1$$
$$h_2 = \delta$$
$$h_3 = \delta^2$$
$$h_4 = \delta^3$$
$$h_5 = \delta^4$$
$$h_6 = \delta^5$$

то-есть видимый блескъ звѣздъ измѣняется въ геометрической прогрессіи, а классы звѣздъ въ ариѳметической

Этотъ законъ подтвержденъ психо-физiологiей (законъ Вебера - Фехнера), въ силу котораго раздраженiе возрастаетъ въ геометрической прогрессiи, тогда какъ ощущенiе въ ариѳметической или ощущенiя пропорцiональны логариѳмамъ раздраженiй.

Изъ вышенаписанной таблицы имѣемъ:

$$\frac{h_5}{h_3} = \frac{\delta^4}{\delta^2} = \delta^2 \qquad \text{или вообще} \qquad \frac{h_n}{h_m} = \frac{\delta^{n-1}}{\delta^{m-1}} = \delta^{n-m}$$

Это выраженiе можетъ быть распространено и на дробныя величины m и n.

Изъ фотометрическихъ наблюденiй опредѣлено для δ слѣдующее значенiе:

$\delta = 0{,}4$, то-есть звѣзда первой величины въ 2½ раза ярче звѣзды второй величины; тоже относительно другихъ классовъ.

Такимъ образомъ, принимая блескъ звѣзды первой величины за единицу и подставляя вмѣсто δ его значенiе, мы найдемъ, что блескъ слѣдующихъ классовъ будетъ равенъ:

$$h_2 = 0{,}4$$
$$h_3 = 0{,}16$$
$$h_4 = 0{,}064$$
$$h_5 = 0{,}026$$
$$h_6 = 0{,}010.$$

Изъ этой таблицы видно, что каждая звѣзда шестой величины доставляетъ нашему глазу всего одну сотую блеска звѣзды первой величины.

Въ началѣ XУII столѣтiя Байѳръ въ своемъ сочиненiи "*Uranometria*" предложилъ особый способъ названiя звѣздъ: онъ обозначилъ блестящiя звѣзды каждаго созвѣздiя буквами греческаго алфавита, назвавъ самую яркую или главную звѣзду буквой α, вторую по яркости β и т.д. въ послѣдовательной постепенности. Говорятъ: α Лиры (Вега) и этимъ обозначаютъ звѣзду, самую яркую въ созвѣздiи Лиры.

Способъ Байера въ настоящее время является невыдержаннымъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ; напр., въ созвѣздiи Близнецовъ самая яркая звѣзда Поллуксъ, а между тѣмъ обозначается буквой β, тогда какъ Касторъ, являющiйся второй по яркости звѣздой обозначается буквой α.

Англiйскiй астрономъ Флемстидъ въ концѣ XУII в. составилъ роспись большинства звѣздъ, видимыхъ простымъ глазомъ, и обозначилъ ихъ текущими арабскими цифрами въ извѣстной послѣдовательности. Цифры Флемстида употребляются иногда рядомъ съ греческими буквами Байера.

Для астрономiи важно знать положенiе на небесной сферѣ каждой звѣзды; это достигается составленiемъ звѣздныхъ росписей или каталоговъ, въ которыхъ даются прямое восхожденiе и склоненiе каждой звѣзды.

Первый астрономъ, составившiй звѣздный каталогъ, былъ Гиппархъ, жившiй около 150 г. до Р.Хр., но его каталогъ въ оригинальномъ видѣ до насъ не дошелъ.

Неожиданное появленiе новой звѣзды побудило Гиппарха составить точную роспись звѣздъ съ той цѣлью, чтобы потомство могло знать о всякой перемѣнѣ, происшедшей на небѣ.

Птоломей, прославленный авторъ "Альмагеста", жившій около I50 г. по Р.Хр., передалъ своему потомству первый звѣздный каталогъ; этотъ каталогъ является древнѣйшимъ изъ дошедшихъ до насъ.

Въ ХУ ст. былъ составленъ каталогъ звѣздъ княземъ Самарканды Улугъ-бекомъ, внукомъ Тамерлана. Улугъ-бекъ привлекъ въ свою столицу всѣхъ знаменитыхъ астрономовъ изъ всѣхъ частей свѣта; онъ воздвигъ въ Самаркандѣ величественную коллегію и обсерваторію, въ которой постоянно занимались около I00 лицъ.

Каталогъ Улугъ-бека является первымъ послѣ каталога Птоломея, въ которомъ положенія звѣздъ были вновь старательно опредѣлены.

Послѣ каталога Улугъ-бека начинается цѣлый рядъ каталоговъ, болѣе совершенныхъ. Послѣднимъ каталогомъ въ дотелескопическое время является каталогъ Гевелія, напечатанный въ I690 г. и содержащій I564 зв.; съ изобрѣтеніемъ же телескопа каталоги стали появляться чаще и чаще.

Въ настоящее время звѣздные каталоги могутъ быть раздѣлены на два рода: съ одной стороны, каталоги, которые заключаютъ въ себѣ точное положеніе избранныхъ звѣздъ, (напр. каталогъ перемѣнныхъ звѣздъ, двойныхъ звѣздъ и т.п.), а съ другой стороны, каталоги, содержащіе списки всѣхъ звѣздъ до извѣстной величины, расположенныхъ въ нѣкоторой части неба. При этомъ не дѣлается разница между блестящими (видимыми невооруженнымъ глазомъ) и телескопическими звѣздами.

Аргеландеромъ и его помощниками въ серединѣ XIX

вѣка былъ предпринятъ исполинскій трудъ - составленіе звѣздной росписи всѣхъ звѣздъ до 9-й величины включительно; эта роспись извѣстна подъ именемъ Боннской росписи (Bonner Durchmusterung) и содержитъ - 3I4925 звѣздъ.

Скоро стало очевиднымъ, что при самой изумительной выдержкѣ жизни одного человѣка уже недостаточно для того, чтобы овладѣть все возрастающимъ звѣзднымъ богатствомъ. Поэтому составился международный союзъ, Астрономическое Общество, которое поставило себѣ главной задачей изготовленіе обширной росписи звѣздъ. Зонный каталогъ Астрономическаго Общества, надъ которымъ работаютъ уже нѣсколько десятилѣтій выдающіяся обсерваторіи всѣхъ цивилизованныхъ націй, будетъ фундаментальнымъ трудомъ для всѣхъ временъ. Каталогъ этотъ охватываетъ звѣзды только до 9-ой величины, но въ немъ достигается возможно большая точность.

По рѣшенію международной конференціи I887 г.въ Парижѣ предпринято составленіе фотографической карты неба; въ составленіи ея принимаютъ астрономы всего земного шара. Для каждой области неба, выдѣленной опредѣленнымъ образомъ, требуется приготовить три фотографическихъ снимка; для каждаго время экспозиціи иное, но точно предписанное. На этой картѣ рѣшено нанести звѣзды до I3-й величины.

На пластинкахъ будутъ сдѣланы точныя измѣренія; такимъ образомъ, снимки эти составятъ каталогъ въ 3 милліона звѣздъ.

Въ тѣсной связи съ составленіемъ звѣздныхъ каталоговъ находится счетъ числа звѣздъ, но, къ сожалѣнію, этотъ вопросъ не имѣетъ даже самаго приближеннаго отвѣта Вопросъ , на который можно дать более опредѣленный отвѣтъ, ограниченъ условіями видимаго блеска, а именно сколько звѣздъ каждой величины? Но даже и въ такомъ видѣ вопросъ не имѣетъ точнаго и въ то же время удовлетворительнаго отвѣта.

Дѣло въ томъ, что между звѣздами смежныхъ величинъ существуетъ незамѣтные переходы, и нѣтъ двухъ наблюдателей, которые провели между звѣздами смежныхъ величинъ одну и ту же границу.

Затрудненіе устраняется примѣненіемъ метода, состоящаго въ разсматриваніи звѣздныхъ классовъ, какъ непрерывно измѣняющихся величинъ, и въ наиточнѣйшей оцѣнкѣ блеска каждой звѣзды. При сравненіи прежняго метода, въ которомъ блескъ звѣздъ выражался только цѣлыми числами, съ новымъ, въ которомъ блескъ звѣздъ измѣняется непрерывно, слѣдуетъ допустить, что прежній блескъ звѣздъ нѣкоторой величины, выраженный старымъ способомъ, выражается соотвѣтственнымъ числомъ по новому способу. Напримѣръ, средняя звѣзда IУ величины будетъ обозначаться не просто 4, а 4,0; средняя звѣзда У величины числомъ 5,0 (вмѣсто 5). При такомъ условіи самая блестящая звѣзда, которая при старомъ способѣ обозначенія причислялась къ IУ классу, по новому способу будетъ имѣть величину 3,5; самая же слабая будетъ 4,5 величины.

Наиболѣе вѣроятные результаты изслѣдованій по

этому вопросу представлены въ слѣдующей таблицѣ:

Число звѣздъ на всемъ небѣ.

I кл. (I-I,5)...	I9;	видимы	невооруж.	глаз.		
II " (I,6-2,5).	65;	"	"	"		
III " (2,6-3,5).	200;	"	"	"		
IУ " (3,6-4,5).	490;	"	"	"		
У " (4,6-5,5).	I400;	"	"	"		
УI " (5,6-6,5).	4900;	"	"	"		
УII ".........	I9900;	видимы	въ телеск.	0,9	дюйм.	въ діам.
УIII ".........	6800	"	"	I,5	"	"
IX "........	241000	"	"	3	"	"
X "........	723000	"	"	6	"	"
XI "........	2I70000	"	"	I0	"	"
XII ".......	6500000	"	"	I6	"	"
XIII ".......	I9500000	"	"	25	"	"
XIУ ".......	58500000	"	"	40	"	"

Такимъ образомъ мы видимъ, что число всѣхъ звѣздъ, видимыхъ глазомъ, не превосходитъ 7074; такъ какъ въ нѣкоторый моментъ мы можемъ видѣть только половину небесной сферы, то общее число звѣздъ, видимое надъ горизонтомъ, не превышаетъ 3537. Если же принять во вниманіе то обстоятельство, что у горизонта видимый блескъ звѣздъ слабѣетъ вслѣдствіе поглощенія лучей въ атмосферѣ, то придемъ къ заключенію, что надъ горизонтомъ можно видѣть значительно меньше 3000 звѣздъ.

Разсмотримъ теперь, какъ по видимому блеску звѣздъ можно судить объ ихъ относительныхъ разстояніяхъ отъ

ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, В.О. ст. Б. ГРЕБЕЦКАЯ 49-6, СПБ.

земли.

Для этого мы предположимъ, что уменьшенiе яркости звѣздъ пропорцiонально квадратамъ разстоянiй ихъ, т.е. яркости двухъ звѣздъ обратнопропорцiональны квадратамъ ихъ разстоянiй отъ земли. Отсюда, очевидно, слѣдовало бы ожидать, что болѣе яркiя звѣзды къ намъ ближе, чѣмъ болѣе слабыя. Хотя это заключенiе не подтверждается вполнѣ и разстоянiя звѣздъ, вычисленныя при помощи параллакса, иногда соотвѣтствуютъ болѣе слабымъ звѣздамъ, между тѣмъ какъ болѣе яркiя не представляютъ возможность опредѣленiя ихъ параллакса, однако въ общемъ сдѣланное нами предположенiе имѣетъ значительную степень вѣроятности.

Принимая яркость звѣздъ перваго класса за единицу, мы для яркости звѣздъ какого-нибудь n-аго класса получили выраженiе:

$$h_n = \delta^{n-1}, \text{ гдѣ } \delta = 0{,}4$$

Называя среднее разстоянiе до звѣздъ I класса черезъ $M_1 = 1$, а до n-аго класса черезъ M_n, въ силу сдѣланнаго предположенiя получимъ

$$h_n = \frac{1}{(M_n)^2}$$

или

$$M_n = \frac{1}{\sqrt{h_n}} = \left(\frac{1}{\sqrt{\delta}}\right)^{n-1}$$

для разстоянiя до звѣздъ ($n-1$) кл. будемъ такимъ же образомъ имѣть

$$M_{n-1} = \left(\frac{1}{\sqrt{\delta}}\right)^{n-2}$$

откуда выводимъ

$$\frac{M_n}{M_{n-1}} = \frac{1}{\sqrt{\delta}} \ldots (A)$$

Вычисляя по вышеприведенной формулѣ $M_n = \left(\frac{1}{\sqrt{\delta}}\right)^{n-1}$

разстоянiя: $M_2 = \frac{1}{\sqrt{\delta}}$, $M_3 = \frac{1}{\delta}$, ... получимъ слѣдующую таблицу для относительныхъ разстоянiй земли до звѣздъ первыхъ 6-ти классовъ.

Классы звѣздъ.	Видимый блескъ.	Разстоянiе до звѣздъ.
I	I	I
2	0,40	I,58
3	0,I6	2,50
4	0,064	3,95
5	0,026	6,25
6	0,0I0	9,89

Предположивъ равномѣрное распредѣленiе звѣздъ въ пространствѣ и, называя число звѣздъ въ пространствѣ, ограниченномъ сферою радiуса, равнаго I, черезъ K мы будемъ имѣть для числа звѣздъ въ пространствѣ, ограниченномъ сферою радiуса M_n, слѣд. выраженiе:

$$Q_n \text{ (число искомыхъ звѣздъ)} = K(M_n)^3$$

Изъ этого равенства слѣдуетъ такое отношенiе:

$$\frac{M_n}{M_{n-1}} = \sqrt[3]{\frac{Q_n}{Q_{n-1}}}$$

или на основанiи формулы (A)

$$\frac{1}{\sqrt{\delta}} = \sqrt[3]{\frac{Q_n}{Q_{n-1}}}$$

откуда

$$\delta = \left(\frac{Q_{n-1}}{Q_n}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Принимая $n = 8$, получимъ по даннымъ Литрова:

$Q_8 = 77\,794$; $Q_7 = 19\,699$.

Подставивъ эти цифры въ выведенное выраженiе, мы получимъ

$$\delta = \left(\frac{19699}{77794}\right) = 0{,}4003$$ - число, весьма близкое къ δ, опредѣляемому фотометрическимъ путемъ.

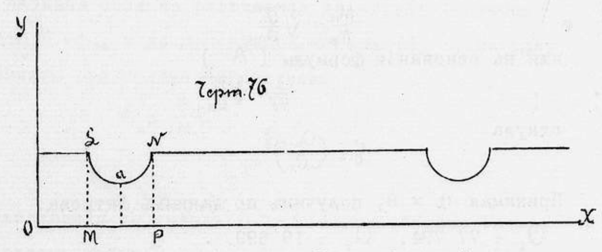
3. ПЕРЕМѢННЫЯ ЗВѢЗДЫ.

Яркость нѣкоторыхъ звѣздъ не остается постоянною, а съ теченіемъ времени измѣняется. Такія звѣзды называются перемѣнными. Измѣненія въ блескѣ бываютъ правильныя или періодическія и неправильныя. Въ первомъ случаѣ яркость черезъ нѣкоторый промежутокъ времени опять дѣлается прежнею и потомъ измѣняется въ томъ же порядкѣ; неправильныя перемѣнныя звѣзды не представляютъ опредѣленнаго періода.

Перемѣнныя звѣзды дѣлятся на нѣсколько типовъ.

А) Звѣзды типа Альголя (β Persei) сохраняютъ большую часть времени свой блескъ безъ измѣненія; по временамъ блекнутъ и по достиженіи наименьшаго блеска (minimum'a) возвращаются къ первоначальному состоянію. Къ этому типу принадлежатъ: β Persei, λ Tauri δ Librae, u Cephei и др.

Кривая измѣненія яркости перемѣнныхъ звѣздъ типа



Альголя представлена на черт. 76, гдѣ за абсциссы принято время, а за ординаты - соотвѣтствующія яркости. Въ точкѣ a звѣзда достигаетъ minimum'a своего блеска

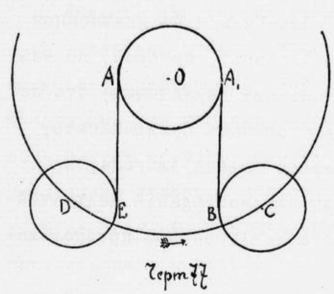
I. Альголь (β Persei) Альголь - это арабское названіе звѣзды β Persei ; Эль-Гуль - въ измѣненной формѣ Альголь - означаетъ "демонъ", который, по мнѣнію арабовъ, является существомъ двуличнымъ; это дало основаніе нѣкоторымъ астрономамъ предполагать, что арабы знали объ измѣненіи блеска Альголя, но такъ какъ до насъ не дошли ихъ наблюденія надъ этой звѣздой, то мнѣніе это остается простымъ предположеніемъ.

Въ теченіе двухъ дней и одиннадцати часовъ Альголь сохраняетъ свой блескъ безъ всякаго измѣненія; затѣмъ блескъ уменьшается въ продолженіе $4\frac{1}{2}$ часовъ, послѣ чего снова увеличивается и черезъ $4\frac{1}{2}$ часа достигаетъ первоначальной своей величины. Наибольшій и наименьшій блескъ Альголя опредѣляется въ 2,3 и 3,5 звѣздной величины.

Первое опредѣленіе перемѣнности блеска Альголя было удостовѣрено Монтанари въ 1669 г.; въ настоящее же время измѣненіе его блеска хорошо изучено и уяснена причина явленія.

Удивительная правильность, съ какою совершается измѣненіе блеска, наводитъ на мысль, что причина явленія кроется въ затменіи звѣзды темнымъ спутникомъ, обращающимся вокругъ нея; только при такомъ предположеніи можно объяснить явленіе.

Пусть въ O (черт. 77) находится центральная звѣзда, D - положеніе темнаго спутника въ то время, когда онъ начинаетъ мало-по-малу закрывать централь-

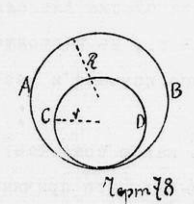


Черт 77

ное свѣтило, C положеніе спутника, когда онъ перестаетъ дѣйствовать на яркость центральной звѣзды.

Когда спутникъ находится въ D или C то яркость центральной звѣзды постоянно и выражается на предыдущемъ чертежѣ ординатами SM и NP

Если мы будемъ знать радіусъ темнаго спутника и разстояніе между звѣздами въ доляхъ радіуса главной звѣзды, то это дастъ намъ возможность опредѣлить плотность звѣзды; разсмотримъ поэтому, какъ опредѣлить эти величины.



Черт 78

Пусть AB (черт. 78) изображаетъ главную звѣзду, а CD ея темнаго спутника въ моментъ наибольшей фазы затменія; пусть радіусъ главной звѣзды $= R$, а темнаго спутника $= r$

Maximum блеска будетъ, когда звѣзда совсѣмъ не затемняется спутникомъ; въ этомъ случаѣ площадь, посылающая свѣтъ, выразится черезъ πR^2; *minimum* блеска будетъ, когда площадь $= \pi R^2 - \pi r^2$;

Какъ мы уже упоминали, во время *maximum'a* β *Persei* является звѣздой 2,3 величины, а во время *minimum'a*

3,5 величины; поэтому (см. пред. гл.)

$$h_{max.} = \delta^{2,3-1};$$
$$h_{min.} = \delta^{3,5-1};$$

Отсюда

$$\frac{\pi R^2 - \pi r^2}{\pi R^2} = \frac{\delta^{3,5-1}}{\delta^{2,3-1}} = \delta^{1,2}$$

или

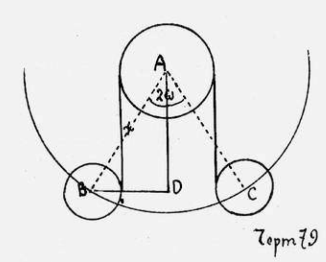
$$1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 = \delta^{1,2} \quad \text{и} \quad \frac{r}{R} = \sqrt{1-\delta^{1,2}} = \kappa.$$

Такимъ образомъ

$r = R\kappa$; очевидно, что $\kappa < 1$ и $r < R$

Разсмотримъ теперь, какъ опредѣлить отношеніе разстоянія между звѣздами къ радіусу главной звѣзды.

Примемъ орбиту темнаго спутника за круговую, такъ объ эксцентриситетѣ ея мы ничего не знаемъ.



Черт 79

Пусть будетъ A (черт 79) положеніе главной звѣзды, B положеніе спутника въ началѣ затменія, разстояніе между центрами $AB = x$ C - положеніе спутника въ концѣ затменія, дуга $BC = 2\omega$. Какъ извѣстно, періодъ звѣзды $u = 70^h$; время уменьшенія блеска $\tau = 10^h$

Ясно, что

$$\frac{2\omega}{360^\circ} = \frac{\tau}{u} = \frac{10}{70} = \frac{1}{7} \quad \text{или}$$
$$2\omega = 360^\circ \cdot \frac{1}{7} = 25^\circ 43'$$

Изъ треугольника ABD имѣемъ:

$$BD = x \sin\omega$$

съ другой стороны,

$$BD = R + r,$$

такъ что $R + r = x \sin\omega$, откуда

$$\frac{x}{R+r} = \frac{1}{\sin\omega} = \operatorname{cosec}\omega \quad \text{или}$$

$$\frac{\frac{x}{R}}{1+\frac{r}{R}} = \operatorname{cosec}\omega, \quad \text{откуда} \quad \frac{x}{R} = (1+K)\operatorname{cosec}\omega = m$$

и окончательно

$$x = mR.$$

Такимъ образомъ, по характеру затменія мы опредѣлили отношенія радіуса темнаго спутника и отношеніе разстоянія его до главной звѣзды къ радіусу главной звѣзды. Этихъ данныхъ достаточно, чтобы рѣшить вопросъ с плотности звѣзды по отношенію къ солнцу. Нужно замѣтить, что только звѣзды типа Альголя даютъ возможность рѣшить этотъ интересный вопросъ.

Вспомнимъ третій законъ Кеплера, обобщенный Ньютономъ.

$$\frac{a^3}{a_1^3} = \frac{t^2(M_1+M_2)}{t_1^2(M+m)}$$

Пусть будетъ a_1 - среднее разстояніе земли до солнца;

t_1 - сидерическій годъ;

M - масса солнца, Δ - плотность его, ϱ - радіусъ;

m - масса земли $= \frac{1}{324000}$ массы солнца (m можно совсѣмъ отбросить, если расчетъ производить съ точностью до 0,01)

$$a = x$$
$$t = u$$

M_1 - масса главной звѣзды; D_1 - плотность ея;

M_2 - масса темнаго спутника; D_2 плотность его

Тогда

$$M = \frac{4}{3}\pi\varrho^3\Delta;\; M_1 = \frac{4}{3}\pi R^3 D_1;\; M_2 = \frac{4}{3}\pi r^3 D_2;\; a_1 = K\varrho.$$

$$M_1 + M_2 = \frac{4}{3}\pi(R^3 D_1 + r^3 D_2) = \frac{4}{3}\pi R^3(D_1 + K^3 D_2)$$

Подставляя найденныя величины въ вышенаписанную формулу, будемъ имѣть:

$$\frac{m^3 \cdot R^3}{K^3 \cdot \varrho^3} = \frac{u^2 \cdot \frac{4}{3}\cdot\pi\cdot R^3(D_1 + K^3 D_2)}{t_1^2 \cdot \frac{4}{3}\cdot\pi\cdot\varrho^3\cdot\Delta}$$

или послѣ сокращеній

$$\left(\frac{m}{K}\right)^3 = \frac{u^2(D_1 + K^3 D_2)}{t_1^2 \cdot \Delta}$$

откуда

$$\frac{D_1 + K^3 D_2}{\Delta} = \frac{m^3 \cdot t_1^2}{K^3 \cdot u^2}$$

Эта формула строгая; сдѣлаемъ теперь допущеніе что $D_1 = D_2 = D$, то-есть, опредѣлимъ какъ бы среднюю плотность; тогда

$$\frac{D}{\Delta} = \frac{m^3 \cdot t_1^2}{K^3 \cdot u^2(1+K^3)};$$

Во второй части этой формулы всѣ величины извѣстныя, поэтому можемъ опредѣлить $\frac{D}{\Delta}$

Фогель въ Потсдамѣ при помощи спектральнаго анализа на основаніи принципа Допплера - Физо доказалъ, что вокругъ Альголя дѣйствительно обращается темный спутникъ, который при каждомъ своемъ обращеніи становится между нами и центральной звѣздой

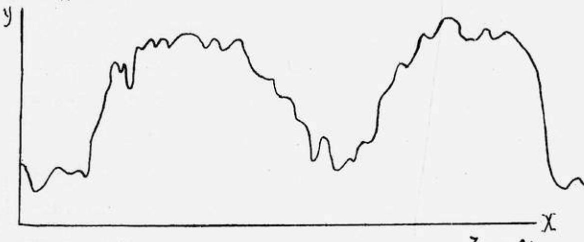
и производитъ затменіе

В/ Перемѣнныя звѣзды краткаго періода съ быстрымъ и постояннымъ измѣненіемъ своего блеска.

Къ этому типу относятся: β Lyrae, R Lyrae, η Aquilae, δ Cephei и др.

Перемѣнность блеска β Lyrae открыта въ 1784 г. Гудрике. Періодъ измѣненія блеска въ настоящее время происходитъ въ $12^d 21^h 53^m 25^s,4$, но онъ измѣняется: сто лѣтъ тому назадъ онъ былъ короче на $2^h 40^m$; увеличеніе періода продолжается и до настоящаго времени. Въ этотъ періодъ звѣзда дважды вспыхиваетъ и дважды блекнетъ, при чемъ вспышки одинаково сильны, а уменьшенія блеска различны: въ одномъ случаѣ больше, въ другомъ меньше. Яркость ея мѣняется между 3,5 и 4,5 зв. величины, при чемъ измѣненіе яркости съ удивительной правильностью повторяется въ слѣдующемъ порядкѣ: въ теченіе двухъ дней происходитъ вспышка и звѣзда отъ 4,5 величины достигаетъ 3,5 величины; затѣмъ въ продолженіе двухъ дней она сохраняетъ свой наибольшій блескъ, послѣ чего она блекнетъ и черезъ два дня уменьшается въ своемъ блескѣ до четвертой величины; послѣ этого происходитъ вторая вспышка и вторичное уменьшеніе блеска до первоначальной величины. Этимъ и заканчивается періодъ.
Уменьшеніе и увеличеніе блеска идетъ неправильно, что ясно видно изъ кривой измѣненія блеска, построенной студентомъ Петербургскаго Университета

С.И.Бѣлявскимъ по десятилѣтнимъ наблюденіямъ С.П. Глазенапа. Эта кривая блеска очень сходна съ той кривою, которую получилъ В.В.Стратоновъ изъ своихъ наблюденій въ Ташкентѣ.



Черт 80

Обратимся теперь къ вопросу о причинѣ измѣненія блеска.

Когда А. А. Бѣлопольскій снялъ фотографію спектра β Lyrae и изучилъ ее, то оказалось, что, во-первыхъ, спектръ двойной и происходитъ отъ двухъ источниковъ свѣта, и, во-вторыхъ, когда линіи одного спектора смѣщены въ одну сторону, то линіи другого въ противоположную. Мало того, спектры, снятые въ различные вечера, указывали на различныя величины смѣщеній спектральныхъ линій. Нѣтъ, значитъ, сомнѣнія, что β Lyrae не одинокое свѣтило, а двойное.

Смѣщеніе линій спектровъ обѣихъ звѣздъ указываетъ на ихъ движеніе въ противоположныя стороны, что и должно быть, если онѣ движутся подъ дѣйствіемъ взаимнаго тяготѣнія около общаго центра тяжести: если одна звѣзда къ намъ приближается, то другая должна удаляться. Дальнѣйшее изученіе спектровъ об-

наружило періодическое измѣненіе величинъ спектральныхъ линій, при чемъ періодъ оказался равнымъ 12,9 именно какъ разъ тому періоду, въ теченіе котораго происходитъ весь циклъ измѣненія блеска β Lyrae. Стало очевиднымъ, что измѣненіе блеска находится въ зависимости отъ движенія обѣихъ звѣздъ β Lyrae.

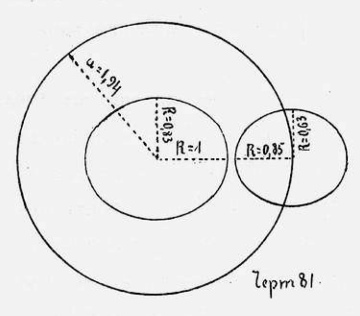
Постараемся теперь объяснить, какимъ образомъ движеніе двухъ взаимно тяготѣющихъ звѣздъ можетъ вызвать наблюдаемыя нами измѣненія блеска β Lyrae.

Вообразимъ себѣ, что вдали отъ насъ находится система двухъ звѣздъ, образующихъ β Lyrae; онѣ такъ далеки отъ насъ, что въ самые могущественные телескопы система кажется одинокою, а не двойною.

Представимъ себѣ дальше, что движеніе происходитъ въ плоскости, которая проходитъ черезъ глазъ наблюдателя; въ такомъ случаѣ при каждомъ оборотѣ должны произойти два затменія: при одномъ положеніи затмится одна звѣзда, а при другомъ - другая; если звѣзды различной величины, то уменьшеніе блеска въ обоихъ случаяхъ будетъ не одинаковое.

Построивъ эту гипотезу, необходимо доказать, справедлива ли она. Изъ наблюденій надъ спектрами оказывается, что моменты, когда лучевыя скорости равны нулю, очень близки къ эпохамъ наименьшаго блеска; такъ и должно быть, если изложенная гипотеза справедлива, такъ какъ во время затменій обѣ звѣзды движутся по направленію, перпендикулярному къ лучу зрѣнія и, слѣдовательно, не измѣняютъ своего разстоянія относительно насъ, а такое движеніе и характеризуется нулевою скоростью по лучу зрѣнія.

Необходимо замѣтить, что одними затменіями нельзя объяснить всѣхъ измѣненій блеска звѣзды; если бы только одни затменія служили тому причиною, то блескъ β Lyrae оставался бы постояннымъ во все время между двумя последовательными затменіями, а въ дѣйствительности блескъ постоянно и непрерывно измѣняется. Приходится сдѣлать гипотезу, что звѣзды окружены высокими атмосферами, въ которыхъ происходятъ приливы и отливы.



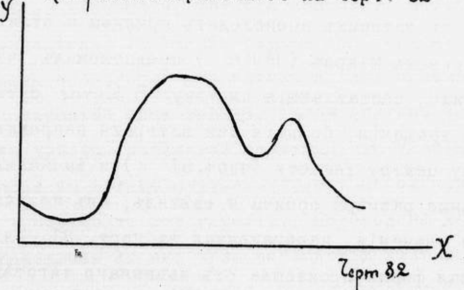
Черт 81.

Астрономъ Міерсъ (Myers) предположилъ, что оба свѣтила, составляющія систему β Lyrae суть эллипсоиды вращенія, большія оси которыхъ направлены къ общему центру тяжести (черт. 81) и вычислилъ относительные размѣры орбиты и свѣтилъ; онъ получилъ числовыя значенія, изображенныя на черт. 81. Эллипсоидальная форма произошла отъ взаимнаго тяготѣнія, подобно тому, какъ водная поверхность земли принимаетъ такую же форму во время приливовъ.

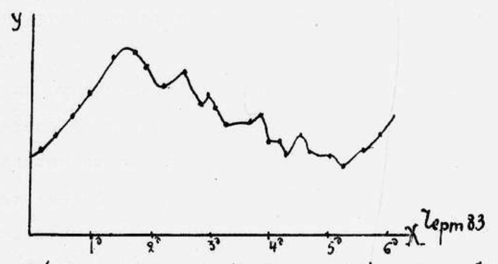
Резюме. Перемѣнная звѣзда β Lyrae не одинокая, а двойная; обѣ звѣзды, составляющія систему, движутся въ плоскости, проходящей черезъ землю; при каж-

домъ ихъ оборотѣ происходятъ два затменія: одно изъ нихъ вызываетъ большее уменьшеніе блеска, другое меньшее; вмѣстѣ съ тѣмъ, въ атмосферѣ происходятъ приливы и отливы, которые вызываютъ непрерывное измѣненіе блеска β Lyrae Изъ всѣхъ этихъ выводовъ только послѣдній является гипотезою, остальные же - достовѣрными фактами.

Перемѣнность η Aquilae открыта Пиготомъ въ 1784 году. Періодъ измѣненія блеска равенъ $7^d{,}18$ и отличается правильностью; въ наибольшей яркости звѣзда достигаетъ 3,5 величины, а въ наименьшей - 4,7. Блескъ перемѣнной быстро увеличивается и медленно уменьшается; при уменьшеніи замѣчается какъ бы вспышка, образующая второй незначительный maximum. Кривая измѣненія блеска η Aquilae изображеннаго на черт. 82



Перемѣнность δ Cephei открыта Гудрике въ 1784 г. Періодъ измѣненія блеска равенъ $5^d 8^h 47^m 38^s{,}7$. Въ наибольшемъ блескѣ звѣзда достигаетъ 3,7 величины, въ наименьшемъ 4,9. По порядку измѣненія блеска эта перемѣнная весьма сходна съ η Aquilae. Приводимая на черт. 83 кривая, составленная С.И.Бѣлявскимъ, ясно изображаетъ порядокъ измѣненія блеска



С/ Перемѣнныя съ большими періодами и большими измѣненіями блеска.

Наиболѣе замѣчательныя звѣзды этого типа: o Ceti и χ Cygni. o Ceti, названная чудесной или удивительной (Mira mirabilis) по необыкновенно значительнымъ измѣненіямъ блеска, была открыта Фабриціусомъ въ 1596 г.; онъ случайно обратилъ на нее свое вниманіе, а именно тогда, когда она ея не нашелъ на небѣ: въ это время она была въ minimum'ѣ своего блеска. Затѣмъ про нее забыли, и только въ 1636 г. Ф.Гольварда снова обратилъ на нее вниманіе; тогда стало ясно, что звѣзда періодически вспыхиваетъ и послѣ нѣкотораго блистанія исчезаетъ, становясь совершенно невидимою.

Періодъ измѣненія блеска равенъ $331^d{,}3$, въ теченіе которого Mira достигаетъ иногда звѣздъ первой величины, иногда же всего пятой, въ наименьшемъ блескѣ она лежитъ за предѣлами видимости простымъ глазомъ, доходя до 9-ой величины. Замѣчено, что величина періода подверга-

ется нѣкоторымъ періодическимъ измѣненіямъ.

Послѣдовательныя вспыхиванія звѣзды и ея исчезновенія черезъ промежутки времени въ II мѣсяцевъ ставятъ o Ceti совершенно особенно среди всѣхъ звѣздъ небеснаго свода.

Спектръ ея оказался сложнымъ; повидимому, мы тутъ имѣемъ дѣло со многими свѣтилами, съ группой свѣтилъ.

Подобный же характеръ измѣненія блеска имѣетъ χ Cygni ; она названа также Mira Cygni . Въ наибольшемъ блескѣ она достигаетъ 5-й величины и видна простымъ глазомъ, а въ наименьшемъ заходитъ за предѣлы I3 величины и видна только въ самые могущественные телескопы. Періодъ измѣненія блеска равенъ 406^d, при чемъ періодъ этотъ не постояненъ.

Ея спектръ также сложный и напоминаетъ спектръ новыхъ звѣздъ.

Для объясненія измѣненія блеска звѣздъ этого типа Локіеръ (Lockyer) сдѣлалъ предположеніе, что тутъ мы имѣемъ дѣло не съ отдѣльными свѣтилами, но цѣлыми роями метеоритовъ, которые сами по себѣ суть темныя тѣла, но вслѣдствіе постоянныхъ столкновеній между собою свѣтятся. Если подобное облако движется вокругъ другого такимъ образомъ, что по временамъ можетъ проникать въ него, то иногда столкновенія должны происходить чаще, а затѣмъ снова становиться рѣже. Двойное облако, которое кажется намъ только точкой, при этомъ періодически усиливаетъ свой блескъ. Усиленіе блеска должно какъ это и показываютъ наблюденія - совершаться здѣсь быстрѣе, чѣмъ ослабленіе, такъ какъ тѣла, при столкновеніи раскаляются быстро, но охлаждаются всегда медленно. Впрочемъ звѣзды этого типа находятся еще въ стадіи изученія. Наблюдать o Ceti затруднительно; она видима у насъ только зимой. χ Cygni можетъ быть наблюдаема съ успѣхомъ.

Д/ Перемѣнныя съ небольшимъ измѣненіемъ блеска и неправильными періодами.

Къ этому типу относятся звѣзды, не имѣющія никакого закона въ измѣненіи своей яркости и измѣняющія свой блескъ весьма незначительно. Большая часть ихъ принадлежитъ къ цвѣтнымъ звѣздамъ, именно, краснымъ, что дѣлаетъ неудобными наблюденія /дальтонизмъ въ большей или меньшей мѣрѣ/; единственный способъ наблюденія - фотографія. Перемѣнныя звѣзды этого типа мало изучены; причины, по которымъ онѣ вѣчно измѣняютъ свой блескъ, неизвѣстны.

Къ этому типу относятся: α Cassiopejae, α Herculis, β Pegasi, μ Cephei, ε Aurigae и др.

4. МЕТОДЪ АРГЕЛАНДЕРА ДЛЯ НАБЛЮДЕНІЯ ПЕРЕМѢННЫХЪ ЗВѢЗДЪ.

При опредѣленіи относительной яркости звѣздъ a и b по яркости не отличающихся на много одна отъ другой, глазъ наводится сначала на одну звѣзду (a), которая разсматривается до тѣхъ поръ, пока глазъ не восприметъ впечатлѣнія всего свѣтового дѣйствія звѣзды; затѣмъ глазъ, не будучи раздражаемъ никакими посторонними впечатлѣніями, быстро переводится на другую звѣзду (b), которая фиксируется такимъ же точно образомъ, какъ и пер

ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. СТ. Б. ГРЕБЕЦКАЯ 49 - 6 СПБ.

вая; послѣ этого глазъ снова наводится на первую звѣзду и это повторяется до тѣхъ поръ, пока не оцѣнится разница свѣтовыхъ впечатлѣній обѣихъ звѣздъ.

Едва замѣтную для глаза свѣтовую разницу между двумя звѣздами Аргеландеръ называетъ степенью (Stufe).- Какъ ни неопредѣленнымъ и неточнымъ кажется съ перваго взгляда подобное опредѣленіе степени, однако многочисленныя опыты показали, что почти у всѣхъ наблюдателей величина степени одна и та же, что колебанія ея заключены въ довольно тѣсныхъ предѣлахъ, и что одна степень приблизительно равна $\frac{1}{10}$ разницы между яркостями звѣздъ смежныхъ классовъ, т.е. равна $\frac{1}{10}$ звѣздной величины.

Для краткости записыванія наблюденій, что приходится дѣлать въ темнотѣ, Аргеландеръ предложилъ придерживаться слѣдующаго правила: если, напр., звѣзда a ярче звѣзды b на двѣ степени, то слѣдуетъ писать: a2b ; впереди стоящая звѣзда ярче позади стоящей на число степеней, помѣщенное между ними. Если же яркости звѣздъ a и b равны между собою, то надо писать ab или ba

Каждое подобное наблюденіе даетъ намъ уравненіе вида:

въ первомъ случаѣ $a - 2 = b$, или

$$a = b + 2 \text{ степ.}$$

во второмъ случаѣ

$$a = b ;$$

Вслѣдствіе волненій въ воздухѣ и вслѣдствіе мерцанія, звѣзды постоянно мѣняютъ блескъ. Если кажется, что блескъ двухъ звѣздъ совершенно одинаковъ, или кажется при

сравненіи блеска двухъ звѣздъ, что одна изъ нихъ то ярче, то слабѣе другой, и при томъ столько же разъ ярче, сколько слабѣе, то блескъ ихъ принимается одинаковымъ. Если одна изъ звѣздъ кажется ярче другой на едва замѣтную величину, или если при наблюденіи замѣчается, что одна звѣзда кажется то ярче, то слабѣе другой, но при томъ чаще ярче, чѣмъ слабѣе, то разница, въ блескѣ, какъ сказано выше, называется степенью и обозначается единицею. Если одна звѣзда несомнѣнно ярче другой, но разница въ блескѣ все-таки мала, такъ что по временамъ отъ мерцанія блескъ ихъ кажется одинаковымъ, то принимается, что блескъ ихъ отличается на двѣ степени. Большія разности могутъ быть оцѣнены въ 3 и 4 степени, но наблюденія при болѣе значительной разности блеска имѣютъ несравненно меньшее значеніе.

Для наблюденія перемѣнныхъ звѣздъ выбираются вблизи отъ послѣднихъ нѣсколько звѣздъ различной яркости таким образомъ, чтобы одна отличалась отъ другой, какъ на пять степеней, т.е. на половину звѣздной величины, и при томъ, чтобы яркость самой слабой звѣзды была нѣсколько меньше той яркости, до которой доходитъ звѣзда въ своемъ минимумѣ, /если таковой можетъ быть наблюдаемъ/ и чтобы яркость самой яркой звѣзды была больше той яркости, которую имѣетъ наблюдаемая перемѣнная звѣзда въ своемъ maximum'ѣ.

Звѣзды выбранныя такимъ образомъ, наз. "звѣздами сравненія", а яркости ихъ, выраженныя въ степеняхъ, "шкалою"

Шкала блеска звѣздъ сравненія составляется слѣдующимъ образомъ: при каждомъ наблюденіи перемѣнная звѣзда сравнивается по крайней мѣрѣ съ двумя "звѣздами сравненія", изъ которыхъ одна слабѣе, а другая ярче перемѣнной звѣзды. Подобное наблюденіе представляетъ возможность опредѣлить относительный блескъ какъ перемѣнной, такъ и звѣздъ сравненія.

Пусть перемѣнная будетъ X, а звѣзда сравненія a и b. Положимъ, что по оцѣнкѣ наблюдателя имѣемъ

X 3 a

b 2 X

что даетъ намъ два уравненія:

$$\left.\begin{aligned} X &= a + 3 \\ X &= b - 2 \end{aligned}\right\} \text{-----} \ (A)$$

откуда $b - a = 5$ .... (B)

т. е. b ярче a на 5 степеней.

Принявъ яркость звѣзды a за нѣкоторую произвольную величину, напр. 0, мы найдемъ, что яркость звѣзды b будетъ равна 5; яркость же звѣзды X по двумъ уравненіямъ (A) опредѣлится слѣдующимъ образомъ:

$$X = 0 + 3 = 3$$
$$X = 5 - 2 = 3$$

Такъ какъ перемѣнная можетъ быть наблюдаема нѣсколько разъ между одними и тѣми же звѣздами сравненія a и b, то каждое наблюденіе дастъ уравненіе вида (B), но вслѣдствіе ошибокъ наблюденія разность b - a въ каждомъ изъ нихъ можетъ, вообще, и не равняться 5 степенямъ, а быть нѣсколько больше или меньше 5. Для

опредѣленія вѣроятнѣйшаго значенія разности блеска b - a берется средняя ариѳметическая изъ всѣхъ опредѣленій.

Предположимъ затѣмъ x/, что для наблюденія перемѣнной избраны звѣзды сравненія a, b, c и d, и что наблюденіями опредѣлено

$$\left.\begin{aligned} b - a &= 5{,}0 \text{ степ.} \\ c - b &= 3{,}7 \ \text{"} \\ d - c &= 1{,}8 \ \text{"} \end{aligned}\right\} \ \ldots (c)$$

Для полученія шкалы блеска недостаетъ еще одного условія, такъ какъ изъ наблюденій получаются только 3 отдѣльныя разности (c), а неизвѣстныхъ четыре. Примемъ, поэтому, что блескъ одной изъ звѣздъ сравненія выражается произвольнымъ числомъ, напр., положимъ

$$a = 0 \text{ степ.} \quad \ldots (Д)$$

Это условіе, вмѣстѣ съ тремя предыдущими (c), достаточно для опредѣленія шкалы блеска звѣздъ сравненія. Дѣйствительно, мы имѣемъ

$$a = \qquad 0 \text{ степ.}$$
$$b = a + 5{,}0 = 5{,}0 \ \text{"}$$
$$c = b + 3{,}7 = 8{,}7 \ \text{"}$$
$$d = c + 1{,}8 = 10{,}5 \ \text{"}$$

Составленіе шкалы блеска нѣсколько усложняется, если кромѣ четырехъ уравненій (C) и (Д), изъ наблюденій получаются еще другія разности блеска, напр. c-a, d-b и d-a; положимъ, наблюденія даютъ:

---

x/ С.П. Глазенапъ. Друзьямъ и любителямъ астрономіи.

$$c - a = 8{,}5$$
$$d - b = 5{,}3$$
$$d - a = 11{,}1$$

Тогда для опредѣленія блеска четырехъ звѣздъ имѣется семь данныхъ. Рѣшеніе уравненій должно производиться по правиламъ теоріи вѣроятностей, а именно по способу наименьшихъ квадратовъ, что дѣлается слѣдующимъ образомъ.

Итакъ, пусть имѣется 6 уравненій (а = с по предположенію, не принимаемъ въ счетъ) для опредѣленія блеска трехъ звѣздъ b, c и d.

b	= 5,0	I3	наблюденій
c	= 8,5	8	"
d	= II,I	I0	"
c-b	= 3,7	I5	"
d-b	= 5,3	I3	"
d-c	= I,8	I0	"

Рядомъ съ каждымъ уравненіемъ пишемъ и то число наблюденій, изъ котораго получены эти уравненія; вѣсъ уравненія принимается пропорціональнымъ корню квадратному изъ числа наблюденій.

При рѣшеніи этихъ уравненій ихъ слѣдуетъ представить въ такомъ видѣ, чтобы въ каждомъ изъ нихъ были всѣ неизвѣстныя, для чего вводятъ неизвѣстныя, которыхъ въ уравненіи нѣтъ, съ коэффиціентомъ 0; тогда уравненія для опредѣленія искомыхъ величинъ, называемыя "условными", будутъ имѣть слѣдующій видъ.

$$\sqrt{10}\,d - \sqrt{10}.c + 0.b = 1{,}8.\sqrt{10}$$

$$\sqrt{13}.d + 0.c - \sqrt{13}.b = 5{,}3.\sqrt{13}$$
$$0.d + \sqrt{15}.c - \sqrt{15} = 3{,}7.\sqrt{15}$$
$$\sqrt{10}.d + 0.c + 0.b = 11{,}1.\sqrt{10}$$
$$0.d + \sqrt{8}.c + 0.b = 8{,}5.\sqrt{8}$$
$$0.d + 0.c + \sqrt{13}.b = 5{,}0.\sqrt{13}$$

При рѣшеніи этихъ уравненій по способу наименьшихъ квадратовъ мы должны составить три "нормальныя" уравненія, и для этого слѣдуетъ: I) помножить каждое уравненіе на коэффиціентъ, при первой неизвѣстной d и сложить всѣ произведенія; сдѣлавъ это, мы получимъ первое нормальное уравненіе

$$33d - 10c - 13b = 197{,}9 \quad \ldots(1)$$

2) Помножить каждое уравненіе на коэффиціентъ при второй неизвѣстной c и сложить всѣ произведенія; сдѣлавъ это, мы получимъ второе нормальное уравненіе

$$-10d + 33c - 15b = 105{,}5 \quad \ldots(2)$$

и 3) Помножить каждое уравненіе на коэффиціентъ при третьей неизвѣстной b и сложить всѣ произведенія; сдѣлавъ это, мы получимъ третье нормальное уравненіе

$$-13d - 15c + 41b = -59{,}4 \quad \ldots(3)$$

Затѣмъ нормальныя уравненія (I), (2) и (3) рѣшаемъ обыкновеннымъ способомъ и для b, c и d получаются слѣдующія значенія

$$b = 5{,}1;\ c = 8{,}8;\ d = 10{,}7.$$

Для перевода степеней, выражающихъ блескъ перемѣнной, въ звѣздныя величины, необходимо знать величины звѣздъ сравненія.

Пусть данная шкала блеска звѣздъ сравненія будетъ

a, b, c, d, и т.д., а звѣздныя величины тѣхъ же звѣздъ: m_1, m_2, m_3, m_4 и т.д. Пусть будетъ η отношеніе одной звѣздной величины къ одной степени, а ξ нѣкоторая разность, происходящая оттого, что, по особенностямъ глаза наблюдателя, послѣдній оцѣниваетъ блескъ всѣхъ звѣздъ больше или меньше, чѣмъ въ шкалѣ звѣздныхъ величинъ. Въ этихъ предположеніяхъ переходъ отъ шкалы блеска звѣздъ сравненія къ шкалѣ звѣздныхъ величинъ производится помощью слѣдующей зависимости

$$\xi + a\eta = m_1$$
$$\xi + b\eta = m_2$$
$$\xi + c\eta = m_3$$
$$\xi + d\eta = m_4$$
$$\xi + e\eta = m_5$$
....

Для нахожденія вѣроятнѣйшихъ значеній ξ и η надлежитъ рѣшить эти уравненія по способу наименьшихъ квадратовъ; для этого необходимо сначала составить два нормальныхъ уравненія:

$$n\xi + [a]\eta = [m];$$
$$[a] + [a^2]\eta = [am];$$

гдѣ выраженія, стоящія въ квадратныхъ скобкахъ, имѣютъ слѣдующее значеніе

$$[a^2] = a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \ldots$$
$$[a] = a + b + c + d + \ldots$$
$$[m] = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \ldots$$
$$[am] = am_1 + bm_2 + cm_3 + dm_4 + \ldots$$

n = числу уравненій

Затѣмъ рѣшеніе нормальныхъ уравненій даетъ намъ наивѣроятнѣйшія значенія ξ и η, а именно

$$\xi = \frac{[a^2][m] - [a][am]}{n[a^2] - [a][a]}$$

$$\eta = \frac{n[am] - [a][m]}{n[a^2] - [a][a]}$$

Когда ξ и η будутъ опредѣлены, не трудно уже найти звѣздную величину перемѣнной. Положимъ, что блескъ ея опредѣленъ по данной шкалѣ величинами $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \ldots$ для временъ $t_1, t_2, t_3, \ldots$

Соотвѣтственныя звѣздныя величины будутъ:

для времени $t_1 \ldots M_1 = \xi + \beta_1\eta$
$t_2 \ldots M_2 = \xi + \beta_2\eta$
$t_3 \ldots M_3 = \xi + \beta_3\eta$
....

Подробныя правила и порядокъ наблюденія перемѣнныхъ звѣздъ, составленныя по порученію Русскаго Астрономическаго Общества С.П. Глазенапомъ, помѣщены въ I выпускѣ "Извѣстій Русск. Астр. Общества", а также въ книгѣ "Друзьямъ и любителямъ астрономіи" С.П.Глазенапа.

5. НОВЫЯ ЗВѢЗДЫ.

Бываютъ случаи - и довольно часто - что малая телескопическая звѣзда вдругъ начинаетъ увеличиваться въ яркости, становится видимой для простого глаза и, увеличиваясь, иногда превосходитъ своею яркостью Юпитера и Венеру, а затѣмъ, по прошествіи нѣкотораго времени яркость начинаетъ уменьшаться, звѣзда какъ бы потухаетъ.

Въ отличіе отъ перемѣнныхъ звѣздъ такія звѣзды называются новыми. Появленіе блестящей новой звѣзды всегда производило глубокое впечатлѣніе на людей. Въ китайскихъ лѣтописяхъ, у древнихъ греческихъ и римскихъ писателей и лѣтописцевъ среднихъ вѣковъ часто встрѣчаются описанія появленія новыхъ, прежде не видѣнныхъ звѣздъ. При описаніи говорится, что послѣ болѣе или менѣе продолжительнаго блистанія звѣзда исчезала, какъ бы потухала, но описанія эти часто туманны, такъ что трудно отдѣлить истину отъ неправды.

Первое прекрасное и достовѣрное описаніе новой звѣзды принадлежитъ Тихону Браге.

Возвращаясь вечеромъ II-го ноября 1572 г. домой изъ своей обсерваторіи, Браге былъ пораженъ видомъ яркой звѣзды въ созвѣздіи Кассіопеи,находившейся въ то время въ зенитѣ. Зная прекрасно звѣздное небо, Браге не сомнѣвался, что вчера еще этой звѣзды не было и что замѣченная имъ звѣзда новая. Не довѣряя себѣ, онъ призвалъ знакомыхъ, останавливалъ прохожихъ и спрашивалъ, видятъ ли они также новую блестящую звѣзду, которая, ничѣмъ не отличаясь по внѣшности отъ другихъ звѣздъ, превосходила ихъ по яркости. Она такъ блистала, что видна была днемъ при полномъ солнечномъ свѣтѣ и превосходила своимъ блескомъ Венеру и Юпитера.

Въ концѣ декабря 1572 г ея блескъ началъ уменьшаться, въ январѣ 1573 г звѣзда была слабѣе Юпитера, въ апрѣлѣ она уже стала звѣздой второй величины, а въ мартѣ 1574 г. исчезла не оставивъ никакого видимаго слѣда своего существованія. Астрономической трубы въ то время еще не было, а потому дальнѣйшая судьба новой звѣзды намъ неизвѣстна.

Правда, было опредѣлено положеніе новой звѣзды, но такъ какъ измѣренія въ то время были грубы - производились съ малой степенью точности, то поэтому, если около указанной Тихономъ Браге точки описать "кругъ вѣроятности", въ которомъ можетъ заключаться новая звѣзда 1572 г. то этотъ кругъ схватитъ нѣсколько телескопическихъ звѣздъ, и поэтому трудно сказать, которая изъ нихъ есть наблюденная Тихономъ Браге.

Въ октябрѣ 1604 г. появилась новая звѣзда въ созвѣздіи Змѣеносца; она блистала, какъ звѣзда первой величины, превосходя по яркости даже Юпитера, однако не долго обладала столь значительнымъ блескомъ; постепенно уменьшаясь въ блескѣ, она исчезла въ началѣ 1606 г. За нею также нельзя было дальше слѣдить, такъ какъ телескопа еще не было въ рукахъ астрономовъ. Новая звѣзда 1604 г. была тщательно наблюдаема Фабриціусомъ, Кеплеромъ и др. Кеплеръ описалъ ея блистаніе въ особой монографіи.

Новыя звѣзды потомъ были наблюдаемы много разъ, но до изобрѣтенія телескопа онѣ представляли предметъ простого любопытства и удивленія.

Послѣ изобрѣтенія телескопа стали заниматься изученіемъ измѣненія ихъ блеска, а когда примѣнены были спектроскопъ и фотографія къ астрономическимъ наблюденіямъ, то удалось раскрыть нѣкоторыя явленія, происходящія какъ

въ самыхъ новыхъ звѣздахъ, такъ и въ ихъ окрестностяхъ.

Изъ новыхъ звѣздъ самаго послѣдняго времени, къ которымъ былъ примѣненъ телескопъ, фотографія и спектроскопъ, вниманія заслуживаетъ звѣзда 1901 г., вспыхнувшая въ созвѣздіи Персея и открытая 8-го февраля гимназистомъ У Кіевской гимназіи Андреемъ Борисякомъ, а нѣсколькими часами позже Андерсономъ въ Эдинбургѣ. До 11 февраля 1901 г. Новая Персея увеличивалась въ блескѣ, а съ этого дня начала блекнуть; паденіе шло очень быстро: въ мартѣ она была 4-й величины, въ апрѣлѣ - 6-й и находилась на предѣлѣ зрѣнія. Въ концѣ 1902 г. она была звѣздой 9-й величины и стала постоянной звѣздой.

Область Новой Персея была сфотографирована 6-го февраля - за два дня до появленія звѣзды - директоромъ обсерваторіи Гервардской коллегіи въ американскомъ Кембриджѣ Э. Пикерингомъ, а затѣмъ ближайшій снимокъ послѣ замѣченной вспышки былъ сдѣланъ 13 февраля; самыя слабыя звѣзды, изображенія которыхъ получены на пластинкахъ, не превосходятъ звѣздъ 11-й или 12-й величины. На снимкѣ 13 февраля изображеніе новой звѣзды получилось въ видѣ расплывчатаго пятна, а на снимкѣ 6 февраля на мѣстѣ новой звѣзды ничего не видно; слѣдовательно, вспышка Новой Персея произошла въ весьма короткій промежутокъ времени между 6 и 8 февраля, хотя точно указать, когда именно, нельзя.

Старались опредѣлить параллаксъ Новой Персея, но эти попытки не увѣнчались успѣхомъ; факты показываютъ, что параллаксы, не меньшія 0"02, еще могутъ быть опредѣлены; такъ какъ параллаксъ въ 0"02 соотвѣтствуетъ разстоянію въ 164 свѣтовыхъ года, то Новая Персея во всякомъ случаѣ не ближе этого разстоянія.

Гейдельбергскій астрономъ Вольфъ снялъ фотографію Новой Персея при четырехчасовой выдержкѣ чувствительной пластинки, и, когда онъ проявилъ ее, оказалось, что новая звѣзда окружена свѣтовымъ туманомъ довольно значительныхъ размѣровъ. Это замѣчательное открытіе было подтверждено другими снимками. Измѣренія положенія отдѣльныхъ частей туманнаго пятна или свѣтовыхъ сгустковъ обнаружили замѣчательное явленіе: туманное пятно увеличивалось, расширялось въ своихъ размѣрахъ; свѣтовые узлы удалялись отъ Новой Персея, какъ отъ центра. Если опредѣлить скорость ихъ движенія и вычислить, когда они были около самой Новой Персея, то оказывается, что всѣ узлы, во первыхъ, вышли изъ Новой Персея и, во вторыхъ, вышли изъ нея одновременно и притомъ 7-го февраля. Оказалось возможнымъ опредѣлить и линейную скорость движенія свѣтовыхъ узловъ; оказалось, что узлы удалялись отъ звѣзды со скоростью свѣта, т.е. со скоростью 300000 кил. въ секунду.

Спектръ Новой Персея оказался сложнымъ, соотвѣтствующимъ двойному источнику свѣта.

Все это даетъ возможность построить слѣдующую гипотезу о причинѣ вспышки Новой Персея.

Невидимое для насъ свѣтило влетѣло въ невидимое же туманное пятно; значительная скорость движенія вызвала сильное сопротивленіе, отъ котораго засвѣтилось газообразное вещество и само свѣтило: и то и другое стало види-

мымъ.

Остается однако непонятнымъ, почему свѣтовые узлы удалялись отъ Новой Персея, а затѣмъ и быстрота этого движенія. Очевидно,въ туманномъ пятнѣ произошло какое то движеніе свѣта, а не вещества.

Ясно, что и съ звѣздой должно было произойти нѣчто необычное: она сама отъ сильнаго накаливанія должна была превратиться въ газообразное вещество.

И дѣйствительно, спектральныя наблюденія показали, что спектръ ея есть спектръ туманныхъ свѣтилъ.

Наблюденія новыхъ звѣздъ производятся по тѣмъ же правиламъ, какъ и наблюденія перемѣнныхъ звѣздъ.

ДВОЙНЫЯ ЗВѢЗДЫ.

Двойныя звѣзды - достояніе новѣйшей, телескопической астрономіи: нѣкоторыя звѣзды, кажущіяся невооруженному глазу одиночными, въ зрительную трубу оказываются состоящими изъ двухъ или нѣсколькихъ весьма близкихъ между собою звѣздъ. Такія звѣзды называются двойными, тройными и вообще сложными звѣздами.

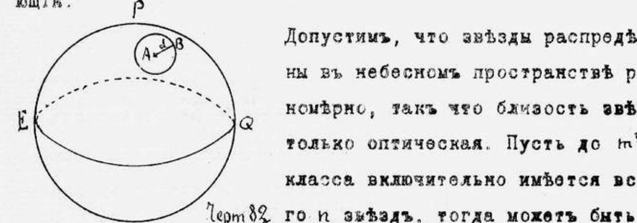
Различаются два рода подобныхъ звѣздъ: оптически двойныя и физически двойныя или сложныя звѣзды. Первыя представляются двойными только случайно вслѣдствіе того, что обѣ звѣзды находятся приблизительно на одной линіи съ нами, между тѣмъ, какъ на самомъ дѣлѣ онѣ находятся на большихъ разстояніяхъ одна отъ другой.

Вторыя дѣйствительно близки другъ къ другу и представляютъ систему двухъ или нѣсколькихъ солнцъ, которыя связаны между собою силою тяготѣнія и обращаются вокругъ

своего общаго центра тяжести по законамъ Кеплера.

Двойныя звѣзды, видимыя въ телескопъ, открыты Галилеемъ; первый же, кто наблюдалъ двойныя звѣзды, былъ Вильямъ Гершель. Онъ думалъ сначала, что это только случайное положеніе двухъ звѣздъ, весьма близкихъ между собою, иными словами, первоначально онъ считалъ ихъ оптически двойными звѣздами, но когда со временемъ онъ сталъ открывать все болѣе и болѣе двойныхъ звѣздъ и въ нѣкоторыхъ изъ нихъ замѣтилъ движеніе, указывающее на физическую связь, долженствующую существовать между двумя звѣздами одной системы, тогда онъ убѣдился, что вѣроятность существованія оптическихъ двойныхъ звѣздъ весьма незначительна.

Впослѣдствіи астрономъ Митчель математически доказалъ вѣрность мнѣнія Гершеля. Разсужденія Митчеля слѣдующія.



Черт 82.

Допустимъ, что звѣзды распредѣлены въ небесномъ пространствѣ равномѣрно, такъ что близость звѣздъ только оптическая. Пусть до $m^{го}$ класса включительно имѣется всего n звѣздъ, тогда можетъ быть всего $\frac{n(n-1)}{1\cdot 2}$ оптическихъ паръ. Пусть EPQ (черт. 82) изображаетъ небесную сферу, описанную радіусомъ, равнымъ единицѣ. Пусть будетъ А какая нибудь звѣзда на небесной сферѣ; для того, чтобы другая звѣзда В могла образовать съ ней оптическую группу съ разстояніемъ d, нужно, чтобы она находилась на поверхности сегмента, ограниченнаго

малымъ кругомъ, описаннымъ изъ A, какъ изъ полюса, радіусомъ d. Вѣроятность v, что двѣ звѣзды будутъ находиться на поверхности такого сегмента, будетъ равна отношенію поверхности сегмента къ поверхности сферы. Такъ какъ d вообще очень мало, то можно принять поверхность сегмента за площадь круга радіуса d; тогда v выразится въ видѣ

$$v = \frac{\pi . d^2}{4\pi} = \frac{d^2}{4}$$

выражая d въ угловой мѣрѣ, получимъ

$$v = \frac{\beta^2}{4} \sin^2 1''$$

Вѣроятное число N всѣхъ оптическихъ двойныхъ звѣздъ будетъ:

$$N = \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} \cdot \frac{\sin^2 1''}{4} \cdot \beta^2$$

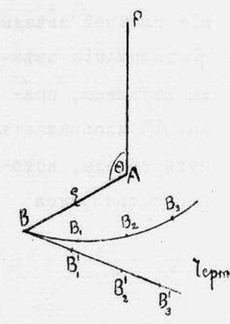
Если $m = 8$, то приблизительно $n = 100000$ и въ круглыхъ числахъ

$$N = \frac{\beta^2}{32}$$

При $\beta = 32''$, $N = 32$; итакъ, изъ 100000 звѣздъ оптически двойныхъ, разстояніе между которыми не превышаетъ 32", всего только 32 пары. Послѣ Гершеля Василій Яковлевичъ Струве много лѣтъ занимался изслѣдованіемъ двойныхъ звѣздъ и даже до извѣстной степени поставилъ себѣ задачей жизни изученіе этой области астрономіи. Его каталогъ содержитъ болѣе 2641 двойныхъ звѣздъ и вообще сложныхъ системъ, у которыхъ наиболѣе слабо свѣтящіеся спутники не ниже девятой величины, а наибольшее разстояніе между спутникомъ и главной звѣздой не превышаетъ 32".

Въ настоящее время извѣстно болѣе 10000 двойныхъ звѣздъ.

Наблюденія, показывающія, что данная система двухъ звѣздъ дѣйствительно представляетъ міръ, физически связанный относительно двухъ звѣздъ, его составляющихъ, производятся слѣдующимъ образомъ.



Пусть A (черт.83) одна изъ звѣздъ разсматриваемаго нами міра, B - первоначальное положеніе звѣзды спутницы (болѣе слабой по яркости, какъ обыкновенно принимается) въ то время, когда мы обратили вниманіе на этотъ міръ. Относительное положеніе двойныхъ звѣздъ принято обозначать такъ: пользуются полярной системой координатъ, за начало которой принимаютъ главную звѣзду A и полярную ось направляютъ къ сѣверному полюсу; разстояніе ρ между звѣздами выражаютъ въ секундахъ.

Если связь между звѣздами физическая, то наблюденія показываютъ, что при положеніяхъ звѣзды $B_1, B_2, B_3, \ldots$ линія, описываемая звѣздой, закручивается около главной звѣзды; когда звѣзда опишетъ значительную часть пути, то можно вычислить ея орбиту.

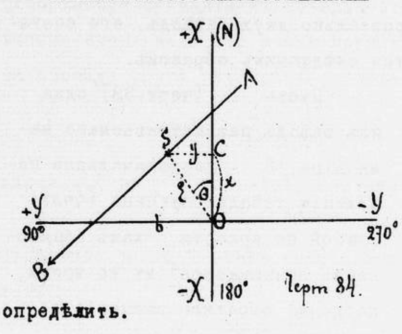
Если же связь между звѣздами только оптическая, то положенія $B'_1, B'_2, B'_3, \ldots$ составляютъ прямую линію.

Изученіе двойныхъ звѣздъ представляетъ большой интересъ, такъ какъ физическія двойныя звѣзды и толь-

Лит. А. Иконникова, П. ст. Б. Гребецкая 49-6. СПБ.

ко онѣ даютъ возможность опредѣлить массы звѣздъ. Наиболѣе простыя - оптически двойныя звѣзды, поэтому ихъ и разсмотримъ сначала.

Оптическія двойныя звѣзды.



Черт 84.

Пусть будетъ O (черт.84) положеніе главной звѣзды S - положеніе звѣзды спутницы, прямая AB изображаетъ путь звѣзды, который и требуется опредѣлить.

Уравненіе прямой AB слѣдующее:

$$y = ax + b$$

Для каждой звѣзды необходимо опредѣлить коэффиціенты a и b, которые выводятся изъ наблюденій слѣдующимъ образомъ

Изъ треугольника SOC имѣемъ:

$$x = \varrho\cos\theta$$
$$y = \varrho\sin\theta$$

ϱ и θ опредѣляются изъ наблюденій; такимъ образомъ, для каждаго наблюденія имѣемъ x и y, и поэтому получится слѣдующая система уравненій:

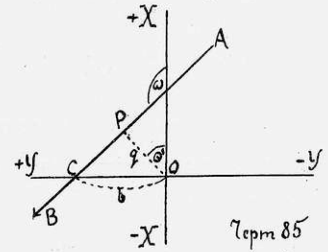
$$y_1 = ax_1 + b$$
$$y_2 = ax_2 + b$$
$$y_3 = ax_3 + b$$
$$\ldots\ldots$$
$$y_n = ax_n + b$$

Эту систему рѣшаемъ по способу наименьшихъ квадратовъ; нормальныя уравненія будутъ:

$$\text{I.}\quad nb + a[x] = [y]$$
$$\text{II.}\quad b[x] + [x^2] = [xy]$$

Эти два уравненія даютъ наивѣроятнѣйшія значенія a и b

Этимъ исчерпывается геометрическая сторона вопроса; изложимъ теперь динамическую сторону.



Черт 85

Мы имѣли уравненіе прямой AB (черт.85):

$y = ax + b$, гдѣ $a = tg\omega$; $b = OC$

Съ динамической стороны насъ интересуетъ скорость движенія μ звѣзды спутницы въ I годъ и время прохожденія на наиближайшемъ разстояніи, что даетъ возможность вычислить параллаксъ.

Изъ чертежа ясно, что $\angle XOP = \theta' = \omega - 90°$, гдѣ $OP \perp AB$; далѣе, $OP = q = b\cos(90° - \theta') = b\sin\theta'$; отсюда опредѣляемъ q.

Назовемъ черезъ τ_0 время прохожденія звѣзды черезъ P - періастрій; пусть въ моментъ звѣзда находилась въ E и пусть $EO = \varrho$;

$$PE = \varrho\sin(\theta - \theta')$$

Для каждаго наблюденія извѣстны ϱ и θ ; θ' можемъ вычислить, значитъ, правая часть формулы извѣстна.

Введемъ время:

$PE = \mu(t - \tau_0)$ или

$\rho \sin(\theta - \theta') = \mu(t - \tau_0)$, гдѣ μ и τ_0 неизвѣстныя величины, t - время наблюденія, выраженное въ годахъ и доляхъ года, напр., I908 + нѣкоторая дробь.

При рѣшеніи по способу наименьшихъ квадратовъ пришлось бы возводить въ квадратъ большія числа, что неудобно, поэтому вводятъ величину t', полагая

$t' = 1900 - t$; тогда

$$\mu(1900 - t') - \mu\tau_0 = \rho \sin(\theta - \theta') \text{ или}$$

$$\mu 1900 - \mu t' - \mu\tau_0 = \rho \sin(\theta - \theta') \text{ или}$$

$$\mu(1900 - \tau_0) - \mu t' = \rho \sin(\theta - \theta')$$

Въ такомъ видѣ уравненіе удобно для рѣшенія, такъ какъ величина $\mu(1900 - \tau_0)$ постоянная, хотя и неизвѣстная; обозначимъ эту величину черезъ z ;

тогда $z - \mu t' = \rho \sin(\theta - \theta') = c$;

Каждое наблюденіе даетъ свое уравненіе, и мы получаемъ систему:

$$z - \mu t_1' = c_1$$
$$z - \mu t_2' = c_2$$
$$z - \mu t_3' = c_3$$
$$\cdots\cdots$$
$$z - \mu t_n' = c_n$$

Эту систему рѣшаемъ по способу наименьшихъ квадратовъ; нормальныя уравненія будутъ:

$$\text{I} \quad nz - \mu[t'] = [c]$$

$$\text{II} \quad -z[t'] + \mu[t'^2] = -[t'c]$$

Изъ этихъ уравненій опредѣляемъ μ и z, а по нимъ уже легко опредѣлить τ_0, такъ какъ $1900 - \tau_0 = \frac{z}{\mu}$

и $\tau_0 = 1900 - \frac{z}{\mu}$

Примѣръ наблюденія оптической двойной звѣзды.

Эта звѣзда занесена В. Струве въ каталогъ подъ № 634 и обозначается такъ: Σ 634 (всѣ оптич. двойныя звѣзды обозначаются буквой Σ); наблюденія исправлены отъ ошибокъ.

	θ	ρ
I825,02 г.	348° 3I′,2	37″,0I
I836,22	350 50,4	33,68
I858,37	354 49,2	26,I8
I870,35	358 39,0	22,5I
I880,25	2 7,8	20,43
I89I,I0	9 0,6	I6,09
I904,83	2I 27,6	I2,28

Вычислить по этимъ даннымъ a, b, q, μ и τ_0

Физическія двойныя звѣзды. Какъ уже говорили, физическими двойными звѣздами называются такія, которыя вслѣдствіе взаимнаго тяготѣнія описываютъ эллиптическія орбиты около общаго центра тяжести, но мы центръ движенія относимъ къ одной какой-нибудь звѣздѣ, называемой главной. Которую звѣзду принять за главную дѣло условное; обыкновенно за главную принимаютъ болѣе яркую.

Плоскость орбиты эллипса можетъ находиться въ какомъ - угодно положеніи относительно глаза наблюдателя; общій случай - когда плоскость составляетъ какой-нибудь уголъ съ лучомъ зрѣнія; частные случаи - когда плоскость орбиты перпендикулярна къ лучу зрѣнія или совпадаетъ съ нимъ. Только въ первомъ ча-

стномъ случаѣ мы видимъ дѣйствительную орбиту; во второмъ же частномъ случаѣ (плоскость совпадаетъ съ лучомъ зрѣнія) мы видимъ только проекцію орбиты (звѣзда описываетъ прямую линію); точно также и въ общемъ случаѣ мы видимъ только проекцію орбиты. Такъ какъ въ общемъ случаѣ эллипсъ проектируется въ эллипсъ же, то эллипсъ, соотвѣтствующій дѣйствительной орбитѣ звѣзды, наз. истиннымъ, проекція же его называется видимымъ.

Пусть O (черт. 86) есть глазъ наблюдателя; плоскость орбиты истиннаго эллипса, не перпендикулярнаго къ лучу зрѣнія, - OF; линіи, идущія изъ глаза наблюдателя къ различнымъ точкамъ эллипса MN, можно принять за параллельныя линіи, образующія поверхность эллиптическаго цилиндра. Проведемъ плоскость, перпендикулярную къ производящимъ этого цилиндра, которая будетъ перспективной плоскостью; полученная орбита будетъ эллиптическая (въ частномъ случаѣ круговая); въ полученной орбитѣ главная звѣзда можетъ проектироваться и не въ фокусѣ эллипса.

M N F C B M' N' O

Черт 86.

Одной и той же проекціи CB могутъ соотвѣтствовать два эллипса MN и M'N', симметрично расположенные по отношенію къ CB и, кромѣ того, безчисленное множество

эллипсовъ, параллельныхъ MN и M'N'

Задача объ опредѣленіи орбиты двойной звѣзды распадается на двѣ части: I) опредѣлить видимый эллипсъ и 2) перейти отъ видимаго эллипса къ истинному. Задача описательной астрономіи изучить видимый эллипсъ; переходъ же отъ видимаго къ истинному эллипсу - задача теоретической астрономіи, поэтому мы этого вопроса касаться не будемъ.

Обратимъ вниманіе на видимый эллипсъ.

Наблюденія даютъ уголъ положенія θ и разстояніе ϱ, отнесенные къ различнымъ временамъ.

Откладываемъ наблюденные θ и ϱ въ указанной системѣ координатъ, но въ рѣдкихъ только случаяхъ получаемъ всю кривую; въ большинствѣ случаевъ имѣемъ только часть дуги. Возстановленіе всей кривой производится или аналитически или графически.

Аналитическій методъ впервые былъ примѣненъ Дж. Гершелемъ и извѣстенъ подъ его именемъ. Онъ заключается въ слѣдующемъ.

Возьмемъ общій видъ уравненія кривой второго порядка:

$$\alpha x^2 + \beta y^2 + \gamma xy + \delta x + \varepsilon y + 1 = 0$$

Изъ наблюденій будемъ имѣть

$$\begin{cases} x_1 = \varrho_1 \cos\theta_1 \\ y_1 = \varrho_1 \sin\theta_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_2 = \varrho_2 \cos\theta_2 \\ y_2 = \varrho_2 \sin\theta_2 \end{cases}$$

. . . .

Такимъ образомъ, получимъ столько частныхъ значенiй для x и y, сколько наблюденiй. Если только сдѣлано только 5 наблюденiй, то получимъ пять уравненiй съ пятью неизвѣстными; въ такомъ случаѣ получимъ точные коэффицiенты $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ Если наблюденiй больше, то неизвѣстные коэффицiенты приходится вычислять по способу наименьшихъ квадратовъ.

Итакъ, имѣемъ:

$$\begin{cases} \alpha x_1^2+\beta y_1^2+\gamma x_1 y_1+\delta x_1+\varepsilon y_1+1=0; \\ \alpha x_2^2+\beta y_2^2+\gamma x_2 y_2+\delta x_2+\varepsilon y_2+1=0; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \alpha x_n^2+\beta y_n^2+\gamma x_n y_n+\delta x_n+\varepsilon y_n+1=0. \end{cases}$$

Изъ этихъ уравненiй можемъ опредѣлить $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ и ε; поэтому уравненiе эллипса намъ будетъ извѣстно и мы можемъ построить эллипсъ по точкамъ.

Такъ, пусть, напримѣръ $x' = 0'',1$; тогда изъ уравненiя эллипса будемъ имѣть:

$$\beta y'^2+0{,}1\gamma y'+\varepsilon y'+0{,}01\alpha+0{,}1\delta+1=0;$$

преобразуя, находимъ

$$\beta y'^2+Ay'+B=0$$

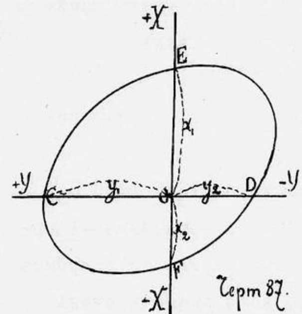
гдѣ $A=0{,}1\gamma+\varepsilon$; $B=0{,}01\alpha+0{,}1\delta+1$;

откуда легко находимъ для y' два значенiя; такимъ же образомъ находимъ и другiя точки.

Этотъ методъ имѣетъ практическiя неудобства: рѣшенiе системы уравненiй съ пятью неизвѣстными очень затруднительно, но главное неудобство заключается въ томъ, что если звѣзда описала небольшую дугу, то случайныя ошибки наблюденiя имѣютъ большое влiянiе на

результатъ, такъ что часто получается не эллипсъ, а гипербола или парабола или же невозможный эллипсъ. Удобенъ же этотъ методъ въ томъ случаѣ, если звѣзда описала большую часть дуги эллипса.

<u>Графическiй методъ.</u> Задолго до того времени, когда звѣзда успѣетъ описать значительную дугу, можно на глазъ очертить эллипсъ, а затѣмъ ввести поправку, и такимъ образомъ даже за цѣлое столѣтiе раньше, чѣмъ можетъ быть примѣненъ аналитическiй методъ, изучить орбиту двойной звѣзды.



Возьмемъ опять въ общемъ видѣ уравненiе эллипса:

$$\alpha x^2+\beta y^2+\gamma xy+\delta x+\varepsilon y+1=0;$$

Пусть $x=0$; тогда

$$\beta y^2+\varepsilon y+1=0;$$

Если бы намъ удалось рѣшить это уравненiе относительно y, то мы получили бы два значенiя y_1 и y_2 и соотвѣтственно двѣ точки эллипса C и D (черт. 87), но такъ какъ коэффицiенты β и ε намъ неизвѣстны, то мы постараемся рѣшить обратную задачу слѣдующимъ образомъ. Измѣримъ циркулемъ разстоянiя отъ O точекъ C и D начертаннаго на глазъ эллипса, то есть y_1 и y_2, и по извѣстнымъ свойствамъ корней квадратнаго уравненiя найдемъ β и ε

Представимъ послѣднее уравненiе въ такомъ видѣ:

$$y^2+\frac{\varepsilon}{\beta}y+\frac{1}{\beta}=0$$

тогда $y_1 y_2=\frac{1}{\beta}$; $\beta=\frac{1}{y_1 y_2}$;

$$y_1+y_2=-\frac{\varepsilon}{\beta}\ ;\ \varepsilon=-\frac{y_1+y_2}{y_1y_2}$$

Положимъ теперь $y=0$; тогда получимъ уравненіе

$$\alpha x^2+\delta x+1=0$$

Циркулемъ можемъ найти x_1 и x_2; тогда

$$\frac{1}{\alpha}=x_1x_2 \text{ и } \alpha=\frac{1}{x_1x_2}$$

$$x_1+x_2=-\frac{\delta}{\alpha}, \text{ откуда } \delta=-\frac{x_1+x_2}{x_1x_2}$$

Итакъ, мы опредѣлили α, β, δ и ε; остается опредѣлить γ. Возьмемъ какую-нибудь точку на нарисованномъ эллипсѣ и, найдя циркулемъ ея координаты, подставимъ въ уравненіе эллипса; тогда все будетъ извѣстно, кромѣ γ, которое опредѣлится въ видѣ:

$$\gamma=-\ 1+\alpha x_3^2+\beta y_3^2+\delta x_3+\varepsilon y_3$$

Наивыгоднѣйшее опредѣленіе γ будетъ тогда, когда $x_3y_3=maximum$

Этотъ способъ былъ предложенъ въ 1889 г. С.П. Глазенапомъ, который такимъ образомъ вычислилъ 41 орбиту двойной звѣзды, и вопросъ объ опредѣленіи орбитъ двойныхъ звѣздъ, считавшійся до того времени очень труднымъ (служилъ темой для магистерскихъ диссертацій), сдѣлался совсѣмъ простымъ.

Первая двойная звѣзда, для которой была опредѣлена орбита, это γ *Virginis*

7. ОПРЕДѢЛЕНІЕ МАССЪ ДВОЙНЫХЪ ЗВѢЗДЪ.

По третьему закону Кеплера, обобщенному Ньютономъ, имѣемъ:

$$\frac{t_1^2(M_1+M_2)}{t^2(M+m)}=\frac{a_1^3}{a^3}$$

гдѣ M - масса солнца, принимаемая за единицу, m - масса земли, принимая равной нулю, t - время обращенія земли вокругъ солнца, a - среднее разстояніе земли до солнца, принимаемое за единицу, M_1 и M_2 - массы звѣздъ, входящихъ въ двойную систему, t_1 - время обращенія ихъ, a_1 - среднее разстояніе между ними.

При этихъ обозначеніяхъ выше приведенная формула принимаетъ видъ:

$$t_1^2(M_1+M_2)=a_1^3, \text{ откуда}$$
$$M_1+M_2=\frac{a_1^3}{t_1^2}$$

Для двойныхъ звѣздъ разстояніе между ними обыкновенно дается въ угловой мѣрѣ, намъ же нужно его вычислить въ линейныхъ единицахъ.

Черт. 88.

Пусть среднее разстояніе между звѣздами E и A (черт. 88) въ угловой мѣрѣ будетъ равно ε''; пусть, далѣе, S будетъ положеніе солнца, T земли, $\angle TES=p$ /параллаксъ/

Изъ $\triangle EAS$ имѣемъ:

$$\frac{a_1}{\Delta}=tg\,\varepsilon'', \text{ откуда}$$

$a_1=\Delta\, tg\,\varepsilon''$; такъ какъ ε не превышаетъ 20", то можемъ написать: $a_1=\Delta.\varepsilon.\sin 1''$

Изъ $\triangle ETS$ имѣемъ: $\frac{a}{\Delta}=tg\,p$, откуда $\Delta=\frac{a}{tg\,p}$ или $\Delta=\frac{a}{p\sin 1''}$

Такимъ образомъ

$$a_1=\frac{a.\varepsilon.\sin 1''}{p.\sin 1''}=\frac{\varepsilon}{p};\ (a=1)$$

и

$$M_1+M_2=\frac{\varepsilon^3}{p^3.t_1^2}$$

Такимъ путемъ мы получаемъ только сумму массъ. Если бы намъ удалось опредѣлить прямую линію, по которой несется общій центръ тяжести двойной звѣзды и положеніе центра тяжести и положеніе каждой изъ звѣздъ въ каждый моментъ, то изъ соотношенія

$$\frac{M_1}{M_2}=\frac{CB}{CA}$$

могли бы опредѣлить отношеніе массъ, и тогда могли бы опредѣлить массу каждой звѣзды въ отдѣльности.

A C B

Черт. 89

Приведемъ нѣсколько массъ (суммъ массъ) двойныхъ звѣздъ, при чемъ масса солнца принята за единицу - ($m_{\odot}=1$)

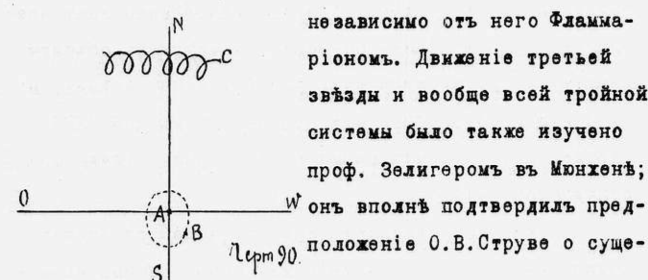
61 Cygni	0,34
η Cassiopejae	0,52
70 Ophiuchi	..........I, 6
α Centauri	2,00
Sirius	3,24
γ Leonis	..........5, 8
γ Virginis	.........32, 7

8. СЛОЖНЫЯ ЗВѢЗДЫ. КУЧИ ЗВѢЗДЪ. ТУМАННОСТИ.

Кромѣ двойныхъ звѣздъ, телескопъ открываетъ намъ тройныя, четверныя и т.д. звѣзды, называемыя вообще сложными или кратными звѣздами. Сложныя звѣзды представляютъ также громадный интересъ, но наши познанія о нихъ еще весьма ничтожны.

Какъ на примѣръ тройной звѣзды укажемъ на ζ Cancri; по внѣшнему виду она ничего особеннаго не представляетъ: она простая звѣздочка 5-й величины, но уже въ небольшой телескопъ она разлагается на двѣ звѣзды - 5-й и 6-й величины, отдѣленныя разстояніемъ въ 5"5; въ I78I г. В.Гершель замѣтилъ, что главная звѣзда ζ Cancri сама состоитъ изъ двухъ звѣздъ. Три звѣзды этой системы обозначены буквами A, B и C. Звѣзды A и B составляютъ отдѣльную тѣсную пару, въ которой звѣзды раздѣлены угловымъ разстояніемъ въ 0",6, третья звѣзда C отстоитъ отъ пары A и B на 5",5. Звѣзды A и B описываютъ эллипсъ около общаго центра тяжести приблизительно въ 59 лѣтъ, третья же звѣзда C медленно движется вокругъ первой пары A и B и полный оборотъ совершаетъ не менѣе какъ въ 600-700 лѣтъ.

Движеніе третьей звѣзды C происходитъ неправильно и неравномѣрно. Если на листѣ бумаги нарисовать ея послѣдовательныя положенія относительно центра тяжести A и B, то получится красивая узловая линія (черт. 90), одна петля которой описывается въ I7½ лѣтъ. Открытіе этого любопытнаго факта сдѣлано О.В.Струве и независимо отъ него Фламмаріономъ. Движеніе третьей звѣзды и вообще всей тройной системы было также изучено проф. Зелигеромъ въ Мюнхенѣ; онъ вполнѣ подтвердилъ предположеніе О.В.Струве о суще-



Черт 90.

ствованіи четвертой звѣзды, вокругъ которой движется третья видимая звѣзда .

Такимъ образомъ мы имѣемъ передъ собою звѣздную систему, состоящую изъ четырехъ звѣздъ; простому глазу вся система представляется какъ одна звѣзда, въ телескопъ малыхъ размѣровъ видны двѣ звѣзды, въ телескопъ большихъ размѣровъ - три звѣзды и, наконецъ вычисленіями доказывается существованіе четвертой звѣзды.

Кучи звѣздъ (рис. 6) представляютъ системы, состоящія изъ множества звѣздъ, сгруппированныхъ вмѣстѣ и связанныхъ между собою взаимнымъ тяготѣніемъ. Нѣкоторыя звѣздныя кучи видны уже невооруженнымъ глазомъ, какъ, напримѣръ, плеяды въ созвѣздіи Тельца; въ которыхъ нормальный глазъ различаетъ 6 звѣздъ, а болѣе зоркіе глаза отъ 7 до 12 звѣздъ, въ зависимости отъ зоркости глаза. Для близорукихъ плеяды кажутся свѣтовымъ пятномъ. Въ трубу съ объективомъ въ 4½ д. въ этой кучѣ видно уже 230 звѣздъ, а съ помощью фотографіи ихъ обнаружено въ ней 2326 звѣздъ, изъ которыхъ самыя слабыя принадлежали шестнадцатому классу.

Рис. 6.



Плеяды представляютъ совершенно обособленную группу звѣздъ, связанныхъ между собою общимъ происхожденіемъ, общимъ движеніемъ въ небесномъ пространствѣ и взаимнымъ тяготѣніемъ.

Первое точное измѣреніе относительнаго положенія звѣздъ плеядъ было произведено Бесселемъ. Затѣмъ подобное же опредѣленіе было произведено помощью фотографіи Рутерфордомъ, Вольфомъ, Элькиномъ и др.

Изъ сравненія всѣхъ этихъ наблюденій между собою оказалось, что восемь звѣздочекъ группы ей не принадлежатъ, а случайно расположены въ томъ же мѣстѣ; изъ нихъ шесть лежатъ далеко за плеядами, а двѣ - передъ ними, такъ какъ у всѣхъ звѣздъ группы одно и то же собственное движеніе, а у упомянутыхъ восьми звѣздочекъ оно совершенно другое. Всѣ плеяды одушевлены общимъ движеніемъ, всѣ онѣ съ одинаковою скоростью несутся въ безграничной вселенной, а восемь звѣздочекъ имѣютъ каждая собственное, особенное движеніе; очевидно, онѣ не принадлежатъ къ группѣ, а представляютъ независимыя отъ нея свѣтила.

Въ послѣднее время въ знаменитой Гарвардской обсерваторіи въ американскомъ Кембриджѣ были изслѣдованы спектры 40 наиболѣе яркихъ плеядъ, и оказалось, что у 38 изъ нихъ совершенно одинаковый спектръ, а у двухъ - другой; когда же опредѣлили положеніе двухъ особенныхъ звѣздъ, то оказалось, что это именно тѣ звѣзды, которыя лежатъ передъ плеядами и которыя имѣютъ особенное собственное движеніе.

Единство спектра плеядъ указываетъ на общее ихъ происхожденіе. Всѣ факты, полученные наблюденіями, какъ

то: общность движеній, общность спектровъ, все это возможно только въ томъ случаѣ, если плеяды созданы изъ одного и того же вещества и если при ихъ твореніи были одни и тѣ же условія. На это же указываетъ еще одно важное явленіе; это - туманное вещество, окутывающее всю группу плеядъ. Первый слѣдъ туманнаго вещества въ плеядахъ былъ открытъ Темпелемъ въ Венеціи въ 1859 г.; по его описанію, оно занимало пространство длиною въ 35, а шириною въ 20 минутъ. По слабости своей оно не могло быть видимо другими астрономами, не имѣвшими возможности наблюдать его подъ столь дивнымъ небомъ, какимъ является небо Венеціи, вслѣдствіе чего открытіе Темпеля сначало не признавалось. Впослѣдствіи открытіе Темпеля было подтверждено многими наблюдателями, и наконецъ, въ 1885 г. братья Акри (Henry) въ Парижѣ сняли портретъ плеядъ, выдержавъ двѣ весьма чувствительныя пластинки по три часа каждую; на пластинкахъ вполнѣ ясно вырисовалось туманное пятно Темпеля и, кромѣ того, обнаружено новое около одной изъ наиболѣе яркихъ звѣздъ плеядъ - Маіи

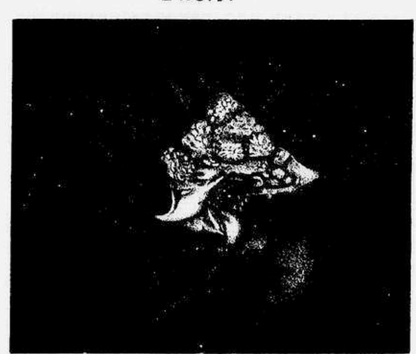
Туманныя пятна. Туманными пятнами называются небольшія пространства на небесномъ сводѣ, которыя покрыты какъ бы легкимъ и слабо мерцающимъ туманомъ различнаго вида и величины; хотя эти пятна имѣютъ чрезвычайно разнообразный видъ, но круглая и эллиптическая формы преобладаютъ. Величина пятенъ также различна: отъ нѣсколькихъ секундъ она доходитъ до нѣ-

скольких градусовъ.

Нѣкоторыя изъ этихъ туманностей въ сильныя трубы разлагаются на мельчайшія звѣзды и, слѣдовательно, представляютъ кучи звѣздъ; другія, несмотря ни на какое увеличеніе, не разлагаются на звѣзды и сохраняютъ видъ туманности даже въ самыя сильныя трубы. Эти такъ называемыя неразложимыя туманности отличаются отъ звѣздныхъ кучъ также и въ спектральномъ отношеніи: спектръ скопленій отдѣльныхъ звѣздъ - сплошной и раздѣленъ темными линіями, подобно солнечному спектру, спектръ же неразложимыхъ туманностей имѣетъ видъ спектра раскаленныхъ газовъ и по большей части состоитъ только изъ четырехъ свѣтлыхъ линій, которыя принадлежатъ водороду и азоту.

Изъ неразложимыхъ туманностей наиболѣе замѣчательно туманное пятно въ созвѣздіи Оріона (рис. 7). По красотѣ и величинѣ съ нимъ можетъ сравняться только туманное пятно Андромеды.

Рис.7.



Многіе астрономы трудились надъ изученіемъ туманнаго пятна Оріона; мы имѣемъ классическіе труды Месье, Гершелей - отца и сына, Струве, Ляпунова, Бонда,

ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. СТ. Б. ГРЕБЕЦКАЯ 49-6. СПБ.

Росса и др. Съ удивительнымъ старанiемъ воспроизводили они на бумагѣ всѣ подробности туманнаго пятна, которыя имъ удалось наблюдать и измѣрить.

Въ послѣднее время пришла на помощь фотографiя, которая безошибочно изображаетъ малѣйшiя подробности этой великой системы небесныхъ мiровъ. На фотографiяхъ ясно обнаруживается спиральное строенiе туманнаго пятна. Въ серединѣ туманнаго пятна находится ϑ Орiона, которая въ самую незначительную астрономическую трубу разлагается на четыре звѣздочки, составляющiя характерную фигуру трапецiи, вслѣдствiе чего она часто называется просто "трапецiей Орiона". При разсматриванiи туманнаго пятна бросается въ глаза отсутствiе свѣтящагося вещества вокругъ трапецiи: какъ будто ея звѣзды исчерпали все окружающее вещество при своемъ образованiи, и вокругъ нихъ стала пустота. Что звѣзды трапецiи произошли изъ туманности Орiона, къ этому заключенiю пришли д-ръ Гигенсъ и его жена изъ спектральныхъ наблюденiй. Около другихъ звѣздъ туманнаго пятна также замѣчаются пустоты, такъ что кажется несомнѣннымъ, что эти послѣднiя образовались не случайно: звѣзды при своемъ образованiи поглотили туманное вещество, котораго около нихъ не стало.

Туманное пятно Андромеды въ самые сильные телескопы не можетъ быть разложено на отдѣльныя звѣзды и кажется сплошнымъ съ болѣе яркимъ ядромъ эллиптическаго вида въ серединѣ. Бондъ, хорошо изучившiй пятно, открылъ въ немъ линейныя пустоты, существованiе которыхъ было впослѣдствiи подтверждено фотографiей.

Когда проф. Шейнеръ въ Потсдамѣ открылъ въ спектрѣ туманности Андромеды темныя линiи поглощенiя, подобныя линiямъ солнечнаго спектра, тогда стало ясно, что туманность состоитъ не изъ газообразнаго вещества, а изъ скопленiя громаднѣйшаго числа звѣздъ солнечнаго типа. Система находится такъ далеко отъ насъ, что мы не видимъ отдѣльныхъ звѣздъ; ихъ блескъ сливается и производитъ впечатлѣнiе непрерывнаго свѣтового сiянiя.

Истинные размѣры туманности Андромеды намъ неизвѣстны, такъ какъ неизвѣстно разстоянiе до нея. Если однако, предположить, что туманность лежитъ на такомъ же разстоянiи, на какомъ лежатъ отдаленнѣйшiя звѣзды, до которыхъ разстоянiе удалось опредѣлить, то оказывается, что радiусъ туманности въ 162000 разъ больше радiуса земной орбиты, равнаго 149 мил.-кил.

9. Млечный путь.

Если въ ясную безлунную ночь смотрѣть на небо, то легко замѣтить бѣловатую свѣтящуюся полосу, какъ бы опоясывающую наше звѣздное небо, и носящую, какъ каждому извѣстно, названiе "Млечнаго пути". Полоса эта раздѣляется въ одномъ мѣстѣ на двѣ болѣе узкiя полосы, которыя, пройдя нѣкоторое пространство параллельно другъ другу, снова соединяются въ одну общую полосу.

То, что глазъ наблюдателя принимаетъ въ видѣ

неопредѣленнаго мерцанія свѣта, въ ограниченной извѣстной границей части неба, то въ сильные телескопы распадается на неисчислимое множество мельчайшихъ звѣздъ; слѣдовательно, Млечный путь представляетъ звѣздное скопище огромныхъ размѣровъ.

Чѣмъ сильнѣе телескопъ, на тѣмъ большее количество звѣздъ разлагаетъ онъ видимый въ полѣ его зрѣнія туманъ млечнаго пути.

Нѣкоторыя части Млечнаго пути отличаются особымъ изобиліемъ звѣздъ, другія мѣста болѣе бѣдны звѣздами; такъ, напримѣръ, въ такъ называемыхъ - "Угольныхъ мѣшкахъ" совсѣмъ не видно звѣздъ, такъ что эти мѣста представляютъ повидимому, какъ бы пустоты въ системѣ Млечнаго пути, которыя не заняты звѣздами.

Изученіе истиннаго строенія Млечнаго пути составляетъ вѣковую задачу астрономіи. Со времени В.Гершеля и до настоящихъ дней не прерывается рядъ самыхъ блестящихъ и въ высшей степени оригинальныхъ изысканій объ истинномъ строеніи Млечнаго пути. Задача представляетъ затрудненіе въ томъ отношеніи,что наблюдатель вѣчно видитъ звѣздное скопленіе съ одной точки, и при томъ не вполнѣ выгодно расположенной въ смыслѣ разрѣшенія вопроса, а именно, наблюдатель находится въ серединѣ Млечнаго пути. Если бы онъ находился внѣ его, то вопросъ, интерисующій астрономовъ, а именно, представляетъ ли Млечный путь перспективное или дѣйствительное скопленіе звѣздъ, разрѣшался бы

легко.

Изъ гипотезъ объ истинномъ строеніи Млечнаго пути сначала преобладали гипотезы о перспективномъ скопленіи звѣздъ вдоль пояса Млечнаго пути, затѣмъ онѣ были отвергнуты, и ихъ мѣсто заняли гипотезы объ истинномъ скопленіи звѣздъ, имѣющемъ форму кольца, состоящаго изъ звѣздъ.

Случайныя наблюденія, подтвердившія эту гипотезу, произведены, съ одной стороны просто глазомъ, съ другой - самой крошечной фотографической камерой.

Просто глазомъ замѣчены и зарисованы мельчайшія детали въ очертаніяхъ, какъ-то: пустоты, свѣтовыя сгущенія, полосы и пр., которыя не могутъ быть объяснены, если мы остановимся на первой гипотезѣ, именно, на перспективномъ строеніи Млечнаго пути. Для объясненія видимыхъ пустотъ, а ихъ не малое количество, пришлось бы допустить, что въ небесномъ пространствѣ существуютъ коническія пустоты, вершины которыхъ совпадаютъ съ глазомъ наблюдателя, а отверстія направлены на мѣста видимыхъ пустотъ Млечнаго пути; другого объясненія быть не можетъ; оно же является настолько маловѣроятнымъ, что отвергается безъ всякаго колебанія.

Фотографическія наблюденія, еще болѣе утвердившія гипотезу о кольцевомъ строеніи Млечнаго пути, произведены американскимъ астрономомъ Бернердомъ; онъ получилъ фотографіи Млечнаго пути помощью крошечной фотографической камеры съ объективомъ въ І½

дюйма.

На пластинкахъ, кромѣ звѣздъ, отпечаталось изображеніе многихъ туманныхъ пятенъ, свѣтовое вещество которыхъ окутываетъ цѣлыя области Млечнаго пути.

10. МІРЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.

А). Планеты.

Нужно замѣтить, что міры солнечной системы изучены гораздо лучше, чѣмъ тѣ отдаленныя свѣтила, съ которыми мы познакомились въ предыдущихъ главахъ; съ достаточной точностью извѣстны ихъ объемы, плотности, элементы движенія и пр.

Приведемъ числовыя данныя, относящіяся къ планетамъ и къ солнцу.

	Средній діаметръ	Діам. въ кил.	Сжатіе	Масса	Плотность	Ускорен. сил. тяж.
☿	0,37	4800	0	1/7000000	0,87	0,44
♀	0,95	12100	0	1/421150	0,95	0,80
♁	1	12756	1/292	1/329000	1	1
♂	0,53	6770	0	1/3093500	0,81	0,38
♃	11,07	141300	1/16	1/1047,9	0,23	2,25
♄	9,31	118800	1/9	1/1530	0,12	0,89
♅	3,92	50000	?	1/24000	0,25	0,91
♆	4,88	62200	?	1/14400	0,14	1,56
☉	10844	1.383200	0	1	0,25	27,62

	Время обращенія вокругъ оси.	Звѣзд. обор. въ средн. сутк.	Сред. разст. отъ солнца	kilom.	Эксцентр.	Наклон орб. къ экл.
☿	88 (?)	87,97	0,39	58	0,2056	7°0'
♀	224 (?)	224,70	0,72	108	0,0068	3°24'
♁	23 56 4	365,26	1	149	0,0168	0°0'
♂	24 37 23	686,98	1,52	226	0,0933	1°51'
♃	9 55 34	4332,59	5,20	773	0,0482	1°18'
♄	10 16	10759,24	9,54	1418	0,0561	2°29'
♅	?	30688,39	19,18	2851	0,0464	0°46'
♆	?	60181,11	35,05	4467	0,0090	1°46'
☉	25 - 27					

Скажемъ теперь нѣсколько словъ о каждой изъ планетъ въ отдѣльности.

Меркурій, какъ видно изъ приведенныхъ числовыхъ данныхъ, наименьшая изъ всѣхъ такъ называемыхъ большихъ планетъ; Меркурій имѣетъ наиболѣе эксцентричную орбиту и наибольшій наклонъ послѣдней къ эклиптикѣ. Такъ какъ Меркурій никогда не отходитъ далѣе 29° отъ солнца, то онъ послѣ заката солнца или передъ его восходомъ всегда находится вблизи самаго горизнта, и потому въ рѣдкихъ только случаяхъ можетъ быть видимъ невооруженнымъ глазомъ. Меркурій имѣетъ фазы, подобныя фазамъ луны. Время оборота вокругъ оси въ выше приведенной таблицѣ обозначено 88 дней со знакомъ вопроса, и вотъ почему.

Уже больше, чѣмъ сто лѣтъ тому назадъ, Шретеръ и другіе наблюдатели замѣтили на Меркуріи пятна и полосы, которыя повидимому, не мѣняютъ взаимнаго по-

ложенія и по всей вѣроятности принадлежатъ къ поверхности планеты. Наблюдатели замѣчали, что пятна на Меркуріи появлялись каждый день всегда въ одномъ и томъ же положеніи относительно края диска или соотвѣтствующей фазы, а такъ какъ наблюденія надъ Меркуріемъ въ прежнее время должны были производиться со слабыми телескопами, которые не давали отчетливыхъ изображеній, и при томъ почти въ одни и тѣ же часы дня, именно въ сумерки - въ періодъ видимости - и такъ какъ въ эти промежутки пятна Меркурія представляли одинъ и тотъ же видъ, то отсюда и выводили заключеніе, что Меркурій движется приблизительно съ такой же скоростью вокругъ оси, какъ и земля, то есть совершаетъ полный оборотъ прибоизительно въ 24 часа. Скіапарелли, который наблюдалъ полосы Меркурія въ теченіе одного и того же періода его видимости въ различное время дня, открылъ поразительный фактъ, что планета представляетъ всегда одну и ту же картину, слѣдовательно, обращена къ солнцу всегда одной и той же стороной, подобно тому, какъ луна къ землѣ, такъ что періодъ обращенія вокругъ оси совпадаетъ съ періодомъ обращенія вокругъ солнца. Эти же выводы подтверждаетъ и Лауэль, наблюдавшій пятна Меркурія при благопріятныхъ условіяхъ. Нужно однако отмѣтить, что вопросъ окончательно не рѣшенъ, такъ какъ пятна в обще неясны, и наблюдать ихъ можно съ большимъ трудомъ.

<u>Венера</u> - красивѣйшая и наиболѣе блестящая изъ

всѣхъ звѣздъ на небесномъ сводѣ; она блеститъ иногда такъ ярко, что бросаетъ замѣтную тѣнь. Венеру иногда можно видѣть невооруженнымъ глазомъ даже при полномъ солнечномъ блескѣ.

Венера отходитъ отъ солнца до 48^{o} и потому послѣ заката солнца или до его восхода видна въ продолженіе нѣсколькихъ часовъ. Такъ какъ она появляется первой на небѣ послѣ заката или исчезаетъ послѣдней передъ его восходомъ, то она получила названіе утренней и вечерней звѣзды. Она имѣетъ фазы, какъ и Меркурій.

Такъ какъ пятна, которыя наблюдались на планетѣ, представляютъ неопредѣленныя очертанія и наблюдаются съ большимъ трудомъ вслѣдствіе яркости планеты, тѣмъ болѣе, что, вѣроятно, Венера окружена значительнымъ и плотнымъ слоемъ атмосферы, то вопросъ о періодѣ вращенія вокругъ оси для Венеры является еще менѣе рѣшеннымъ, чѣмъ для Меркурія. Скіапарелли находитъ, что Венера также обращена къ солнцу одной и той же стороной и поэтому періодъ обращенія вокругъ оси совпадаетъ съ періодомъ обращенія вокругъ солнца, то есть равенъ 224 дн. . Лауэль и Бѣлопольскій пришли къ заключенію, что періодъ этотъ нѣсколько меньше, чѣмъ 224 дн.

<u>Марсъ</u>, сіяющій красноватымъ цвѣтомъ, изученъ гораздо лучше Венеры и Меркурія. Это первая по порядку изъ тѣхъ планетъ, которыя могутъ находиться въ любомъ положеніи относительно солнца и, слѣдовательно, мо-

гутъ быть видимы на ночномъ небѣ. Во время противостоянія съ солнцемъ Марсъ настолько приближается къ намъ, что его поверхность можетъ быть довольно подробно изучена; въ этой области много трудился Скіапарелли, который составилъ довольно подробную карту поверхности этой планеты. На полюсахъ Марса видны два бѣлыхъ пятна, которыя увеличиваются и уменьшаются въ зависимости отъ положенія ихъ относительно солнца . Кромѣ того, на Марсѣ видны разныя другія пятна, вслѣдствіе прозрачной атмосферы достаточно рѣзко очерченныя; положенія и очертанія ихъ не измѣняются, такъ что весьма точно можно опредѣлить время обращенія вокругъ оси. Марсъ имѣетъ двухъ, чрезвычайно малыхъ спутниковъ, которые были открыты въ 1877 г. Асафомъ Холлемъ (Asaph Hall) въ Вашингтонѣ при помощи самаго большого въ то время рефрактора, и получили впослѣдствіи названіе Фобоса и Деймоса.

Марсъ въ это время былъ въ необыкновенно благопріятномъ положеніи для насъ, повторяющимся только черезъ 15 лѣтъ, а именно, онъ находился въ великомъ противостояніи, то-есть Марсъ находился ближе всего къ землѣ, а земля дальше всего отъ солнца.

Нужно замѣтить, что уже давно отыскивали одного или нѣсколькихъ спутниковъ Марса. Земля имѣетъ одну луну, у Юпитера въ то время были извѣстны четыре спутника; такъ какъ въ то время вообще любили заниматься игрою въ числа, то было естественно предположить, что Марсъ имѣетъ двѣ луны; это мнѣніе высказалъ еще Кеплеръ. Въ 1726 г. Свифтъ въ своемъ знаменитомъ фантастическомъ произведеніи "Путешествіе Гулливера" разсказываетъ о народѣ, который открылъ двѣ луны Марса; ближайшая луна отстояла отъ планеты на 3 ея поперечника, дальнѣйшая на 5 поперечниковъ; время обращенія ближайшаго спутника - 10 часовъ, второго - 12½ часовъ. На самомъ дѣлѣ разстояніе второй луны Марса какъ разъ такое, какое Свифтъ далъ для перваго спутника, созданнаго въ своей фантазіи. Времена обращенія спутниковъ - 7 ч. 41 м. и 30¼ ч.

Понятно, что открытіе Холля вызвало сенсацію.

Ближайшій спутникъ - Фобосъ - діаметръ котораго не превосходитъ 8 klm , отстоитъ отъ центра Марса менѣе чѣмъ на 2,8 его рад. и обращается вокругъ него въ 7 ч. 41 м., то есть слишкомъ втрое скорѣе, чѣмъ Марсъ вокругъ своей оси. Вслѣдствіе этого Фобосъ, въ противоложность всѣмъ свѣтиламъ, перегоняя суточное вращеніе планеты, восходитъ на западѣ и заходитъ на востокѣ.

Второй спутникъ - Деймосъ - отстоитъ отъ планеты на 6,9 ея радіуса и совершаетъ оборотъ вокругъ планеты въ 30¼ часа; діаметръ его не превосходитъ 9½ klm

Вслѣдствіе своей малости эти спутники даютъ возможность опредѣлить массу Марса съ большой точностью.

<u>Юпитеръ</u> наибольшая изъ всѣхъ планетъ, имѣетъ видъ яркой звѣзды нѣсколько желтоватаго цвѣта. Ось вращенія Юпитера почти перпендикулярна къ плоскости его движенія вокругъ солнца. Пятна на Юпитерѣ образуютъ по обѣ сто-

роны экватора полосы, параллельныя экватору; въ наиболѣе сильные телескопы эти полосы представляютъ параллельные ряды облаковъ. Полосы эти довольно быстро измѣняются и иногда въ нѣсколько часовъ принимаютъ совсѣмъ другія очертанія. Періодъ обращенія Юпитера вокругъ оси хорошо извѣстенъ, но представляетъ особенность: экваторіальная область заключенная между 10° сѣверной и южной широты Юпитера, вращается въ теченіе 9 ч. 50 м., вся же остальная область въ теченіе 9 ч. 55 м. 34 с. . Нѣчто подобное мы видѣли у солнца, только тамъ періодъ измѣняется непрерывно, здѣсь же имѣются перерывы.

Юпитеръ окруженъ восемью спутниками, изъ которыхъ четыре были открыты Галилеемъ въ 1610 г. вслѣдъ за изобрѣтеніемъ имъ зрительной трубы. Галилей назвалъ ихъ въ честь своего покровителя Козьмы II Медичи звѣздами Медичеевъ, но это названіе не распространилось, и въ настоящее время ихъ обозначаютъ римскими цифрами: I, II, III, IV, соотвѣтственно ихъ разстоянію отъ планеты. Пятый спутникъ, чрезвычайно малый и находящійся въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ планетой , былъ открытъ въ 1892 г. Бернердомъ (Barnard) съ помощью тридцати шести дюймоваго рефрактора Ликской обсерваторіи; хотя этотъ спутникъ и находится ближе всего къ планетѣ, но во избѣжаніе путаницы его обозначаютъ цифрой V. Остальные три спутника - фотографическіе.

Самый большой изъ всѣхъ спутниковъ - III. Движеніе спутниковъ происходитъ почти по кругамъ въ плоскости экватора планеты; при своемъ движеніи спутники часто попадаютъ въ тѣнь планеты и затмеваются ею. Затменія спутниковъ Юпитера даютъ средство опредѣлять географическія долготы мѣстъ на земной поверхности.

Сатурнъ - удивительнѣйшая изъ всѣхъ планетъ вслѣдствіе системы колецъ, его окружающей. На поверхности планеты замѣчаются нѣсколько полосъ, которыя параллельны ея экватору. Періодъ обращенія вокругъ оси извѣстенъ только съ нѣкоторымъ приближеніемъ, такъ какъ только изрѣдка можно видѣть на планетѣ какую-нибудь отмѣтинку, которая при этомъ скоро исчезаетъ.

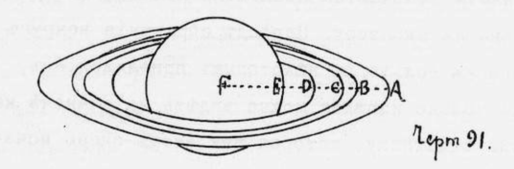
Сатурнъ окруженъ десятью телескопическими и двумя фотографическими спутниками. Телескопическіе спутники, за исключеніемъ самаго отдаленнаго, вращаются вокругъ него въ плоскости экватора; орбита самаго отдаленнаго наклонена къ экватору на 9°30′. Ближайшій спутникъ отстоитъ отъ центра Сатурна на 3,1 его радіуса, наиболѣе отдаленный на 59,6 раз. Наибольшій изъ нихъ - шестой (Титанъ), наименьшій - седьмой (Гиперіонъ) Два новѣйшихъ спутника-фотограф.

Кольцо Сатурна было замѣчено еще Галилеемъ, но онъ принялъ его за два спутника, такъ близко стоящіе къ планетѣ, что почти касаются ее. Только Гюйгенсъ впервые распозналъ, что имѣетъ предъ собою кольцо.

Въ настоящее время почти въ каждый телескопъ средней силы можно видѣть не только кольцо со свобод-

нымъ шаромъ внутри его, но ясно также можно различить темную линію, раздѣляющую кольцо Сатурна на два концентрическихъ кольца. Эта линія называется дѣленіемъ или щелью Кассини по имени открывшаго ее изслѣдователя.

Ниже мы приводимъ размѣры сатурновой системы по измѣреніямъ В. и О. Струве.



Черт 91.

		Килом.	Секунды
AF-	внѣшній радіусъ внѣшняго кольца	I38400	20",05
BF-	внутренній " " "	I21900	I7, 65
CF-	внѣшній радіусъ внутренняго "	II9500	I7, 30
DF-	внутренній " " "	89800	I3, 00
EF-	экваторіальный " Сатурна "	62I00	9, 00
AB-	ширина внѣшняго кольца	I6600	2, 40
CD-	" внутренняго "	29700	4, 30
BC -	" щели	3I00	0, 45
AD	" обоихъ свѣтлыхъ колецъ	46600	6, 70
DF-	удаленіе внутренняго отъ Сатурна	27600	4, 00

Гипотеза о строеніи кольца первый разъ была высказана Лапласомъ. Онъ говоритъ, что кольцо не можетъ быть твердымъ по слѣдующимъ соображеніямъ: если допустить, что кольцо твердое, какъ спутники, то по

III закону Кеплера скорость въ движеніи будетъ такъ различна, что, какъ показываютъ математическія выкладки, кольцо, если даже допустить, что оно изъ твердой стали, должно разлетѣться.

Что кольцо должно быть жидкимъ, Лапласъ не доказалъ, но въ его попыткѣ доказать это Максвелль и Гирнъ нашли ошибку; если исправить эту ошибку, то для жидкаго кольца также получается отрицаніе устойчивости. Если даже допустить, что кольцо жидкое, то при той температурѣ, которая тамъ существуетъ, оно обратилось бы въ твердое и, значитъ, должно было бы разлетѣться. Hirn, Maxwell и Ковалевская показали, что устойчивое равновѣсіе возможно только при существованіи отдѣльныхъ твердыхъ частичекъ. Провѣрить этихъ теоретическихъ выводовъ въ телескопъ нельзя; единственный путь для провѣрки - спектральный анализъ, и вотъ Бѣлопольскій и Кемпбель взялись за разрѣшеніе вопроса и пришли къ тождественнымъ выводамъ, а именно, что кольцо Сатурна имѣетъ метеорное строеніе.

Почему мы видимъ такъ рѣзко границы и почему существуетъ пустоты?

Въ "Небесной механикѣ" доказывается, что если два тѣла съ малой массой вращаются вокругъ третьяго такъ, что ихъ движенья соизмѣримы, то не можетъ быть устойчиваго равновѣсія, и одно тѣло притянется, а другое оттолкнется. Вслѣдствіе этого частицы кольца, находящіяся въ пустотѣ Кассини, тяготѣя къ спутникамъ или притянутся, или отолкнутся, и такимъ образомъ получат-

ся рѣзкія границы и пустота Кассини. Должна существовать область съ наименьшимъ количествомъ частицъ - это такъ называемая область Бонда.

Все это даетъ несомнѣнное доказательство метеорнаго строенія кольца. Къ этому можно прибавить, что самъ Сатурнъ виденъ сквозь кольцо, а также звѣзды.

Уранъ, открытый въ 1781 г. В.Гершелемъ, еще можетъ быть виденъ невооруженнымъ глазомъ, какъ звѣзда 6-й величины. О вращательномъ движеніи Урана мы не знаемъ ничего положительнаго, но судя по движенію спутниковъ, оно должно быть обратное. Уранъ окруженъ четырьмя спутниками, движеніе которыхъ обратное и орбиты которыхъ наклонены къ орбитѣ планеты на 80^{o}.

Нептунъ - самая отдаленная изъ всѣхъ извѣстныхъ планетъ и уже не виденъ невооруженнымъ глазомъ; онъ имѣетъ одного спутника, который обращается вокругъ него въ обратномъ направленіи и въ плоскости, наклоненной къ орбитѣ Нептуна на 35^{o}.

Малыя планеты. Еще Кеплеръ, разсматривая среднія разстоянія планетъ отъ солнца, которыя онъ опредѣлилъ на основаніи своихъ законовъ, замѣтилъ что между Марсомъ и Юпитеромъ, имѣется громадный, ничѣмъ незанятый промежутокъ. Если выразить эти разстоянія круглыми числами въ десятыхъ доляхъ разстоянія земли до солнца, то получится слѣдующій рядъ: Меркурій - 4, Венера - 7, Земля - 10, Марсъ - 15, Юпитеръ - 52, Сатурнъ - 95; здѣсь сразу бросается въ глаза скачекъ 15 - 52, и потому Кеплеръ высказалъ предположеніе, что между Марсомъ и Юпитеромъ должно существовать свѣтило, пока для насъ невидимое.

Въ 1800 г. въ Лиліенталѣ собрались шестеро замѣчательныхъ ученыхъ и образовали общество для разысканія неизвѣстной еще планеты. Они раздѣлили зодіакальный поясъ на 24 части, распредѣливъ ихъ между равнымъ числомъ наблюдателей.

Піацци изъ Палермо принадлежалъ къ числу членовъ общества, составившагося для отысканія планеты. Вечеромъ 1-го января 1801 г. вниманіе этого астронома было привлечено небольшой звѣздочкой въ созвѣздіи Тельца, которой не оказалось въ извѣстномъ каталогѣ неподвижныхъ звѣздъ. Въ слѣдующіе дни онъ увидѣлъ, что наблюдаемая звѣзда перемѣщается, откуда онъ заключилъ, что имѣетъ дѣло съ однимъ изъ членовъ солнечной системы, но оставалось невыясненнымъ, есть ли это планета или же комета безъ косы. Наблюдаемая звѣзда весною исчезла въ лучахъ солнца.

Лѣтомъ этимъ вопросомъ занялся Гауссъ, въ то время еще юноша, мало извѣстный, онъ придумалъ новый методъ для опредѣленія планетныхъ орбитъ по весьма немногимъ и весьма близко другъ за другомъ слѣдовавшимъ наблюденіямъ, и приложилъ этотъ методъ къ опредѣленію орбиты свѣтила, наблюденнаго Піацци.

Гауссъ опредѣлилъ мѣсто искомой планеты, направилъ на эту точку телескопъ, и въ полѣ зрѣнія, замерцалъ новый міръ. Планета эта названа была Церерою;

ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. ст. Б. ГРЕБЕЦКАЯ 49-6. С.П.Б.

разстоянiе ея при вышеприведенныхъ обозначенiяхъ выражается числомъ 28. Вскорѣ послѣ этого были открыты еще 3 планеты: Паллада, Юнона и Веста, послѣ чего прошло почти сорокъ лѣтъ, прежде чѣмъ найденъ былъ пятый астероидъ - Астрея.

Открытiе малыхъ планетъ шло такимъ образомъ.

Въ перiодъ отъ	1801 г.-1845 г.	открыто	5	мал. планетъ
"	1847 - 1850	"	8	" "
"	1851 - 1855	"	24	" "
"	1856 - 1860	"	25	" "
"	1861 - 1865	"	23	" "
"	1866 - 1870	"	27	" "
"	1871 - 1875	"	45	" "
"	1876 - 1880	"	62	" "
"	1881 - 1890	"	83	" "
"	1891 - 1900	"	157	(фот. путемъ)
"	1901 - 1908	"	151	" "

Орбиты первыхъ малыхъ планетъ пересѣкаются въ одной точкѣ, что дало возможность Ольберсу высказать гипотезу, что малыя планеты - суть осколки одной когда-то существовавшей большой планеты. (Гипотеза отвергнута.)

Массы астероидовъ такъ малы, что если бы число ихъ было на 1000 больше, чѣмъ сколько ихъ извѣстно въ настоящее время, то и тогда сумма массъ ихъ была бы въ 4000 разъ меньше массы земли.

Наклонность орбитъ малыхъ планетъ къ эклиптикѣ у многихъ превосходитъ 10°, а у Паллады даже доходитъ до 35°.

Есть планеты, которыя находятся очень близко отъ Юпитера и Марса; Кирквудъ замѣтилъ, что астероидовъ не имѣется въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ перiодъ движенiя долженъ составлять $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, ... перiодовъ движенiя Марса и Юпитера, т.е. гдѣ перiодъ число соизмѣримое съ перiодомъ Юпитера и Марса.

Въ 1895 г. докторъ Витъ въ Берлинѣ, директоръ Уранiи, открылъ малую планету, поразившую его быстротой своего движенiя. Когда была опредѣлена орбита этой планеты, названной Эротомъ, то оказалось, что часть ея выходитъ за орбиту Марса и лежитъ ближе къ землѣ, чѣмъ орбита Марса. Эта планета очень удобна для опредѣленiя разстоянiя земли до солнца (опредѣленiя солнечнаго параллакса).

Б. Кометы.

Кометы по большей части представляются въ видѣ обширной, болѣе или менѣе блестящей, но не ясно ограниченной массы свѣта, называемой головою, обыкновенно болѣе яркой въ центрѣ. Среднее свѣтлое ядро походитъ на звѣзду или яркую туманность.

От головы въ направленiи, всегда противоположномъ солнцу, идутъ расходящiяся полосы свѣта, которыя расширяются и блѣднѣютъ по мѣрѣ удаленiя отъ головы. Этотъ придатокъ-коса или хвостъ кометы - имѣетъ иногда огромную величину; такъ, напр. коса кометы 371-го года до Р.Хр., по Аристотелю, простиралась на 60°, а коса кометы 1618 года до Р.Хр. имѣла длину не менѣе 104°.

Впрочемъ коса не составляетъ существенной принадлежности кометы. Многія, весьма яркія кометы имѣли короткія косы, а нѣкоторыя являлись и безъ косъ. Съ другой стороны, являлись кометы съ нѣсколькими косами. Косы кометъ большею частью принимаютъ криволинейную форму.

Число кометъ, которыя были наблюдаемы или о которыхъ сохранились преданія, простирается до нѣскольких сотенъ. Но принимая во вниманіе, что до изобрѣтенія телескопа замѣчались только такія кометы, которыя бросались прямо въ глаза, что съ той поры ежегодно открывается одно или два подобныхъ тѣла, - нельзя не допустить, что истинное число ихъ несравненно больше.

Многія кометы ускользаютъ отъ вниманія потому, что весь путь ихъ заключается въ той части неба, которая для сѣвернаго полушарія бываетъ надъ горизонтомъ днемъ. При такомъ условіи комета можетъ быть видима только въ рѣдкомъ случаѣ полнаго солнечнаго затменія.

Впрочемъ, нѣкоторыя кометы были такъ ярки, что ихъ можно было видѣть даже днемъ; таковы были кометы годовъ: 1402, 1532 и 1843.

Маленькія кометы, которыя видны лишь въ трубы, самыя многочисленныя; онѣ часто бываютъ безъ хвоста и представляются въ видѣ круглой, нѣсколько вытянутой туманной массы, болѣе сгущенной къ центру, гдѣ, впрочемъ, не замѣчается ядра или чего

похожаго на твердое тѣло.

Это ясно обнаружилось въ кометѣ 1847 г., которая, проходя черезъ звѣзду, нисколько не уменьшила свѣта послѣдней, между тѣмъ какъ подобная же звѣзда совершенно исчезаетъ въ легкомъ туманѣ надъ поверхностью земли.

Нѣкоторыя изъ кометъ бываютъ видимы лишь нѣсколько дней, другія - нѣсколько мѣсяцевъ. Одна комета имѣетъ видимое движеніе прямое, другая - обратное, третья совершаетъ весьма неправильный извилистый путь. Онѣ не находятся, подобно планетамъ въ одной части неба, но пересѣкаютъ его по всѣмъ направленіямъ.

Замѣчательно также измѣненіе величины кометъ въ продолженіе того времени, когда онѣ бываютъ видимы; тогда онѣ появляются сначала въ видѣ блѣдныхъ и медленно движущихся тѣлъ съ маленькимъ хвостомъ или безъ него, но потомъ ускоряютъ свое движеніе, увеличиваются и испускаютъ изъ себя тотъ придатокъ, длина и яркость котораго возрастаютъ вмѣстѣ съ приближеніемъ къ солнцу до тѣхъ поръ, пока комета не исчезнетъ въ его лучахъ. Черезъ нѣсколько времени онѣ снова появляются съ другой стороны солнца и удаляются отъ него сперва быстрѣе, а потомъ все медленнѣе. Въ перигеліи кометы являются во всемъ своемъ блескѣ, и косы ихъ достигаютъ наибольшей длины. По мѣрѣ удаленія отъ солнца движеніе кометъ замедляется хвостъ ихъ меркнетъ или поглощается головою, ко-

торая постепенно все блѣднѣетъ и наконецъ скрывается, въ большинствѣ случаевъ, навсегда.

Теорія тяготѣнія дала ключъ къ объясненію этихъ движеній. Ньютонъ, доказавъ, что тѣло, обращающееся вокругъ солнца, можетъ описывать всякое коническое сѣченіе, тотчасъ же замѣтилъ приложимость общихъ законовъ и къ кометнымъ орбитамъ.

Наблюдая комету 1680-го года, которая была чрезвычайно близко отъ солнца (на разстояніи, меньшемъ $\frac{1}{6}$ его діаметра), Ньютонъ провѣрилъ свою теорію и нашелъ, что эта комета описываетъ около солнца, какъ фокуса, эллипсъ съ такимъ большимъ эксцентриситетомъ, что этотъ эллипсъ весьма мало отличается отъ параболы. Такая орбита представляла видимое движеніе кометы на всемъ протяженіи ея наблюдаемаго пути столь же удовлетворительно, какъ орбиты планетъ.

Съ этой поры стало извѣстнымъ, что движенія кометъ и планетъ подчиняются общимъ законамъ и что первыя отличаются отъ вторыхъ только чрезмѣрной длиной своихъ эллипсовъ, отсутствіемъ всякаго предѣла въ наклоненіи плоскостей ихъ орбитъ къ плоскости эклиптики и недостаткомъ общаго направленія въ ихъ движеніи.

Опредѣленіе положенія и размѣровъ эллиптической или параболической орбиты, представляющей движеніе данной кометы, составляетъ чисто геометрическую задачу.

Положеніе плоскости орбиты опредѣляется относительно положенія плоскости эклиптики; линія пересѣченія плоскости орбиты съ плоскостью эклиптики называется линіею узловъ, а точки пересѣченія небесной сферы съ линіей узловъ называются узлами; та точка, гдѣ комета изъ части своей орбиты, лежащей къ югу отъ эклиптики, переходитъ въ часть, лежащую къ сѣверу отъ нея, называется восходящимъ узломъ, а противоположная - нисходящимъ.

Элементами кометныхъ орбитъ называются всѣ тѣ величины, которыя вполнѣ опредѣляютъ движеніе кометы, и посредствомъ которыхъ можно для любого даннаго момента - прошедшаго или будущаго - опредѣлить ея положеніе въ небесномъ пространствѣ.

Къ элементамъ кометныхъ орбитъ относятся:

а) геометрическіе, зависящіе отъ положенія въ пространствѣ - долгота восходящаго угла Ω, уголъ наклоненія плоскости орбиты къ плоскости эклиптики i, долгота перигелія π, длина большей полуоси a и величина эксцентриситета e;

б) динамическіе, зависящіе отъ движенія - время прохожденія черезъ перигелій.

Такимъ образомъ, нужно опредѣлить 6 элементовъ; если же орбита параболическая, то $e = 1$ считается извѣстнымъ, и остаются только пять элементовъ, что значительно упрощаетъ вычисленія.

Въ 1797 г. Ольберсъ подарилъ наукѣ весьма простой способъ для опредѣленія кометныхъ орбитъ по

трем полным наблюденіям надъ прямыми восхожденіями и склоненіями кометы и времени, въ которое они сдѣланы.

По большей части оказывается, что движеніе кометъ изображается удовлетворительно параболическими орбитами, то-есть эллипсами, большія оси которыхъ безконечны или, по крайней мѣрѣ такъ длинны, что при вычисленіи положеній кометъ во все время, пока онѣ бываютъ видны, незамѣтно ощутительной погрѣшности, въ предположеніи, что ось эллипса безконечна.

Парабола служитъ какъ бы предѣломъ между эллипсомъ и гиперболой. Комета, описывая эллипсъ, какъ бы ни была длинна его ось, должна, удалившись отъ солнца, снова возвратиться къ нему по истеченіи извѣстнаго періода времени, если не помѣшаютъ тому возмущенія. Между тѣмъ, въ случаѣ гиперболической орбиты, комета, пройдя черезъ перигелій, уже не возвращается въ сферу нашихъ наблюденій, но уходитъ въ другія системы. До сихъ поръ еще не доказано, чтобы какая-либо комета дѣйствительно описывала гиперболу, хотя и полагали, что кометы 1721-го и 1818-го годовъ двигались по такого рода кривой.

Кометы, которыя появляются черезъ опредѣленные промежутки времени, называются періодическими. Въ настоящее время достовѣрно извѣстно около 27 такихъ кометъ. Изъ нихъ только комета Галлея въ наибольшемъ ея удаленіи отъ солнца выходитъ за предѣлы орбиты Нептуна; прочія же далеко не достигаютъ даже

орбиты Сатурна.

Всѣ эти кометы наблюдались въ различныя эпохи, но для нѣкоторыхъ кометъ періоды обращенія обнимаютъ столѣтія и даже тысячелѣтія; такъ комета 1811 года совершаетъ свой полный оборотъ въ 300 лѣтъ. Такіе огромные періоды, конечно, не могутъ быть опредѣлены съ большой точностью, и потому о возвращеніи кометы мы не можемъ знать ничего положительнаго. Сверхъ того, кометы, проходя близъ большихъ свѣтилъ, могутъ претерпѣть столь сильное возмущеніе въ своихъ элементахъ, что измѣнятъ свои эллиптическіе пути на параболическіе или гиперболическіе.

Разсмтримъ замѣчательнѣйшія ихъ періодическихъ кометъ.

<u>Комета Галлея</u> открыта Галлеемъ въ Англіи въ августѣ 1682 г.; она быстро увеличивалась въ своемъ блескѣ, развернула роскошную косу, но также быстро поблекла и исчезла, будучи наблюдаема всего 26 дней.

Галлею первому принадлежитъ трудъ составленія каталога кометъ (еще до открытія кометы 1682-го года), появившихся и наблюденныхъ до него; въ этомъ каталогѣ заключается не только списокъ когда-либо появившихся кометъ, но и элементы ихъ орбитъ.

Въ исторіи астрономіи комета Галлея играетъ видную роль: она первая комета, длѣ которой установлена періодичность; періодъ ея - 76,29 лѣтъ;

ближайшее появленіе въ 1910 г.

Комета Энке съ періодомъ въ $3\frac{1}{2}$ года. Комета эта открыта Каролиною Гершель, сестрой великаго астронома В. Гершеля, 7-го ноября 1795-го года, но извѣстна въ наукѣ подъ именемъ кометы Энке, приложившаго много труда къ изученію движенія этой кометы.

Впослѣдствіи комета была наблюдаема Понсомъ въ 1805 и 1818 годахъ.

Изучая движеніе кометы, Энке замѣтилъ особенное, въ высшей степени интересное явленіе, выражающееся въ томъ, что періодъ обращенія съ каждымъ ея появленіемъ уменьшается чего, въ сущности, не должно быть. При уменьшеніи періода обращенія уменьшается и большая полуось орбиты (по III закону Кеплера) и, слѣдовательно, уменьшаются всѣ размѣры орбиты. Если періодъ обращенія, а вмѣстѣ съ нимъ и размѣры эллипса будутъ постоянно уменьшаться, то не дойдетъ ли уменьшеніе до того, что комета наконецъ упадетъ на солнце? Изученіе этого вопроса повело къ уясненію причинъ уменьшенія періода обращенія кометы Энке, - предмета въ высшей степени интереснаго, которымъ занимались многіе астрономы, главнѣйшимъ же образомъ самъ Энке. Онъ пришелъ къ тому заключенію, что причина кроется въ сопротивленіи движенію кометы той среды, которая наполняетъ пространство нашей солнечной системы. Само собой разумѣется, что среда эта весьма разрѣженная и ей придали названіе

эфира на томъ основаніи, что если дѣйствительно существуетъ въ пространствѣ нѣкоторое вещество, то оно должно быть настолько же разрѣжено, какъ эфиръ по понятіямъ древнихъ.

Такимъ образомъ особенность, представляемая движеніемъ кометы Энке, повидимому была удовлетворительно объяснена, и ученые вначалѣ были склонны видѣть въ ускореніи ея возвращенія къ перигелію фактическое доказательство существованіе эфира, но другія періодическія кометы не представляютъ въ своемъ движеніи ничего подобнаго. Новѣйшія изысканія академика Баклунда, директора Пулковской обсерваторіи, приводятъ къ заключенію, что причина уменьшенія періода кометы Энке кроется въ возмущеніяхъ планетъ, которыя вначалѣ не были приняты въ расчетъ надлежащимъ образомъ, но окончательно этотъ вопросъ не разрѣшенъ.

Комета Лекселя, открытая Мессье въ 1770 г., пришла въ солнечную систему двигаясь по весьма вытянутому эллипсу, приближающемуся къ параболѣ; пройдя близко около Юпитера, она подъ вліяніемъ возмущающаго дѣйствія послѣдняго она получила рѣзко очерченный эллипсъ съ періодомъ въ 5,6 лѣтъ. Во время удаленія отъ солнца она опять встрѣтила Юпитера и подъ возмущающимъ дѣйствіемъ его стала двигаться, какъ показываютъ вычисленія, по гиперболѣ, такъ что навсегда ушла изъ нашей солнечной системы.

Комета Біела. Эта слабая комета, откры-

тая 27-го февраля 1826-го года австрійскимъ маіоромъ Біела заняла выдающееся мѣсто въ наукѣ, благодаря удивительнымъ явленіямъ, въ ней происшедшимъ. Появившись какъ одинокое, обособленное свѣтило, она затѣмъ раздвоилась и исчезла; когда снова она встрѣтилась намъ, то приняла уже другой видъ: она представилась въ видѣ дождя падающихъ звѣздъ.

Вкратцѣ исторія ея слѣдующая.

Послѣ открытія кометы Біела были вычислены элементы ея орбиты и опредѣленъ ее періодъ, который оказался равнымъ $6\frac{1}{2}$ г. Въ 1832 г. комета появилась опять и была наблюдаема, но ничего особеннаго въ своемъ внѣшнемъ видѣ комета не представила. Слѣдующее приближеніе состоялось въ 1839 г., но въ этомъ году комета все время оставалась въ лучахъ солнца и вслѣдствіе этого не могла быть видима.

При слѣдующемъ появленіи въ ноябрѣ 1845 г. черезъ мѣсяцъ послѣ ея открытія она представила замѣчательное явленіе: она раздвоилась и была названа "кометами-близнецами". Фактъ раздвоенія былъ открытъ въ Америкѣ; въ Европѣ объ этомъ узнали только въ январѣ 1846-го года.

Когда "кометы-близнецы" скрылись, самъ собою напрашивался рядъ вопросовъ:

1) когда произошло дробленіе кометы? 2) какая причина раздвоенія кометы - есть ли это слѣдствіе внѣшнихъ причинъ или внутреннихъ, какъ, напримѣръ, взрыва?

3) что будетъ съ кометами - близнецами въ будущемъ, то-есть, будетъ ли разстояніе между ними постепенно увеличиваться или же кометы будутъ обращаться около общаго центра тяжести, двигаясь въ то же время вокругъ солнца? Всѣ эти вопросы тогда не имѣли отвѣта, такъ какъ фактъ дробленія кометы наблюдался впервые и поражалъ своей необычайностью, а поэтому астрономы съ нетерпѣніемъ ждали новаго появленія кометъ-близнецовъ" въ 1852 г. Въ 1852 г. " кометы - близнецы" представляли удивительное измѣненіе своего блеска: то одна изъ нихъ была ярче, то другая; разстояніе между ними увеличилось. Измѣненіе блеска затрудняло точное изученіе ихъ движенія, такъ что явилась нѣкоторая неопредѣленность при сравненіи наблюденій 1846-го г. съ наблюденіями 1852 г., и главный вопросъ о причинѣ дробленія кометы остался безъ отвѣта. Въ 1859 г. кометъ не удалось видѣть вслѣдствіе невыгоднаго положенія относительно солнца, такъ какъ во время своего приближенія къ землѣ онѣ оставались въ лучахъ солнца. Пришлось ждать 1877-го г. За трудную работу - предсказать точное положеніе кометъ при новомъ появленіи въ 1866 г. взялся Юрьевскій проф. Клаузенъ. Кометы разыскивались на указанномъ Клаузеномъ мѣстѣ, но тщетно: онѣ не были видны. Кометы пропали и вмѣсто разрѣшенія вопросовъ явился новый неожиданный вопросъ: куда дѣлись кометы?

Орбита кометы Біела пересѣкаетъ земную орбиту

въ той точкѣ, гдѣ земля бываетъ ежегодно 27-го ноября по нов. стилю; слѣдовательно, если комета вступитъ въ эту точку 27-го ноября, то произойдетъ встрѣча земли съ остатками кометы. Въ 1872 г. ожидалось вступленіе остатковъ кометы въ указанную точку пересѣченія орбитъ земли и кометы 27-го ноября. Въ этотъ день въ обоихъ полушаріяхъ падающія звѣзды сыпались съ неба въ такомъ изобиліи, что наблюдатели не успѣвали ихъ сосчитывать.

Явленіе было названо звѣзднымъ дождемъ. Зарисованные пути падающихъ звѣздъ всѣ выходили изъ одной точки, лежавшей въ созвѣздіи Андромеды.

Произведенными расчетами доказано, что если бы комета была видна, то она именно появилась бы въ той самой точкѣ; такимъ образомъ не было сомнѣнія, что наблюденныя падающія звѣзды являлись остатками кометы Біела и что земля погрузилась въ метеорный потокъ, образовавшійся изъ кометы.

Обращеніе кометы Біела вокругъ солнца нѣсколько превышаетъ $6\frac{1}{2}$ лѣтъ; двойной оборотъ нѣсколько превышаетъ 13 лѣтъ. Вслѣдствіе этого можно было предполагать, что черезъ два оборота, то-есть въ 1885 г., когда 27-го ноября земля вступитъ въ точку пересѣченія орбитъ, она снова встрѣтится съ остатками кометы Біела, вытянувшимися въ довольно длинный метеорный потокъ, что дѣйствительно и оправдалось: 27 (15) н. во всемъ сѣверномъ полушаріи можно было наблюдать необычайное количество падающихъ звѣздъ.

Слѣдующая встрѣча съ потокомъ могла произойти въ 1898 г., но уже такого обильнаго потока, какъ въ предыдущихъ встрѣчахъ, не наблюдалось. Вѣроятно, метеорный потокъ перемѣстился по орбитѣ и прошелъ черезъ земную орбиту до или послѣ 27-го ноября.

Итакъ, комета, бывшая одинокою, раздвоилась и исчезла, - исчезла для насъ оттого, что разложилась въ метеорный потокъ и стала невидимою. Земля встрѣтилась съ потокомъ 27-го ноября 1872 и 1885 годовъ и въ это время наблюдались сильные звѣздные дожди.

Комета Донати, (рис. 8) открытая Донати 2-го іюня 1858 года, достигла такого блеска и величины, какого не запомнятъ астрономы: столь блестящей кометы въ историческія времена никто не видалъ. Хвостъ, или коса, кометы Донати охватывалъ дугу въ 65°; кометою можно было любоваться съ конца августа до начала декабря. Комета Донати выкинула двѣ косы: одну почти прямолинейную, состоявшую изъ полаго конуса, ограниченнаго отчетливыми свѣтовыми краями, и другую изогнутую и имѣвшую форму громаднѣйшаго опахала. Тща-

Рис. 8.



тельно зарисованныя очертанія косъ кометы Донати дали впослѣдствіи матеріалъ для изученія причинъ и порядка ихъ образованія.

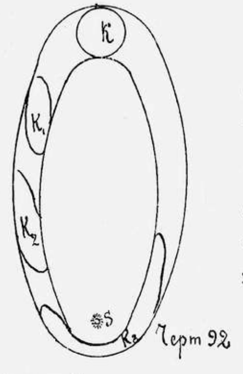
Физическое строеніе и причины дробленія кометъ.

Кометы обладаютъ громаднымъ объемомъ и ничтожной массой. Плотность и масса кометъ такъ малы, что французы называютъ кометы "les riens visibles" - "видимое ничто", такъ какъ кометы не производятъ никакого замѣтнаго вліянія на движеніе планетъ, встрѣчающихся на ихъ пути. Когда кометы закрываютъ звѣзды, то лучи свѣта, какъ мы уже упоминали, проходятъ, нисколько не измѣняясь. Если допустить газообразное строеніе кометъ, то онѣ должны были бы поглощать свѣтъ, но этого не наблюдается.

Самое вѣроятное предположеніе о физическомъ строеніи кометъ, что кометы состоятъ изъ мелкихъ частицъ матеріи, какъ кольцо Сатурна. Предположивъ такое частичное строеніе кометъ, разсмотримъ механическое дѣйствіе движенія кометъ вокругъ солнца.

Подъ дѣйствіемъ притяженія солнца частицы кометы стремятся отдѣлиться другъ отъ друга, вслѣдствіе чего при приближеніи къ солнцу комета должна различаться на составныя части и тѣмъ болѣе, чѣмъ чаще она проходитъ около солнца и чѣмъ ближе проходитъ къ нему, если не предположить только, что взаимное притяженіе частицъ болѣе разлагающей силы солнца, но послѣднее мало вѣроятно. Въ самомъ дѣлѣ,

представимъ себѣ, что въ афеліи орбиты въ видѣ чрезвычайно растянутаго эллипса находится нѣкоторый объемъ, напримѣръ, сфероидъ К (черт. 92) въ которомъ помѣщается масса отдѣльныхъ твердыхъ космическихъ частицъ, составляющихъ комету.



Черт 92

Изъ всѣхъ частицъ сфероида самыя ближайшія къ солнцу будутъ находиться въ a, а самыя отдаленныя въ b; ясно, что первыя частицы описываютъ меньшій эллипсъ, и подвергаясь большей притягательной силѣ солнца, должны двигаться быстрѣе частицъ b, обходящихъ солнце по внѣшнему эллипсу, большему, чѣмъ внутренній, въ періодъ времени $=T$. Положимъ, что періодъ обращенія частицъ (a) на $\frac{1}{1000}T$ меньше T. Тогда спустя одинъ оборотъ, частица (a) (для простоты беремъ одну частицу) опередитъ частицу (b) на $\frac{1}{1000}$ всего пути; черезъ 500 оборотовъ частицы разойдутся на разстояніе діаметра орбиты, а черезъ 1000 оборотовъ пойдутъ снова нѣкоторое время параллельно другъ другу, въ то время какъ всѣ другія частицы сфероида К въ силу тѣхъ же причинъ будутъ занимать различныя промежуточныя положенія на орбитѣ кометы, такъ что сфероидъ постепенно удлиняется и переходитъ изъ К въ форму K_1, K_2, K_3,.

ЛИТ. А. ИКОННИКОВА, П. СТ. Б. ГРЕБЕЦКАЯ УЛ., 49-6. СПБ.

пока отдѣльныя частицы, его составляющія, не разобьются настолько, что расположатся на протяженіи всей орбиты, образуя собою эллиптическое ожерелье вокругъ солнца. Когда эти частицы влетаютъ въ нашу атмосферу, мы видимъ падающія звѣзды.

Предположимъ, что въ кометѣ имѣются два центра тяготѣнія, къ которымъ тяготѣніе больше разлагающей силы солнца. Въ этомъ случаѣ комета раздѣлится, а каждая полученная часть будетъ существовать отдѣльно и подвергаться вышеописаннымъ вліяніямъ, то-есть перейдетъ въ метеорный потокъ, что и случилось съ кометой Біела.

Комета эта вытягивается, разстоянія между частицами увеличиваются, и поэтому видимый блескъ слабѣе; въ концѣ концовъ комета обратится въ метеорный потокъ.

Бразильскій астрономъ Ліэ открылъ въ 1861 г. двойную комету, а комета 1889 г. почти на глазахъ астрономовъ раздробилась на 4 части. Такимъ образомъ теоретическія разсужденія подтверждаются наблюденіями.

Косы кометъ.

Вопросъ о природѣ и причинѣ образованія кометныхъ косъ занималъ величайшіе умы.

Начиная съ Кеплера, было высказано много гипотезъ о строеніи кометъ и ихъ косъ, однако первое обстоятельное послѣдованіе по этому вопросу принадлежитъ доктору Ольберсу, который въ мемуарахъ о

большой кометы 1811 г. высказалъ гипотезу объ отталкивательной силѣ солнца, какъ причинѣ, производящей эти дивные придатки кометъ. Послѣ Ольберса многіе астрономы, какъ, напримѣръ, Бессель и Целльнеръ, занимались тѣмъ же вопросомъ, но особое развитіе онъ получилъ въ послѣднее время въ трудахъ Ѳ.А. Бредихина. Сущность его изслѣдованій мы и приводимъ ниже.

Наблюденія показываютъ, что коса кометы -
1) лежитъ всегда въ одной плоскости съ орбитой;
2) направлена всегда въ сторону, противоположную солнцу и 3) обращена выпуклостью въ сторону движенія.

Такъ какъ всѣ плоскости кометныхъ орбитъ проходятъ черезъ солнце, то центръ солнца является единственной точкой, общей всѣмъ кометнымъ орбитамъ, и, слѣдовательно, если образованіе косы вызывается дѣйствіемъ какой-нибудь внѣшней силы, то она можетъ лежать только въ общей точкѣ кометныхъ орбитъ - въ центрѣ солнца.

Такъ какъ косы кометъ направлены всегда въ сторону, противоположную солнцу, то нѣтъ сомнѣнія, что вещество отталкивается какою-то силою. Если бы сила была притягательная съ коэффиціентомъ, равнымъ ньютоніанскому, то частицы двигались бы по той-же орбитѣ; если бы была притягательная сила съ коэффиціентомъ, большимъ ньютоніанскаго, то частицы двигались бы внутри кометной орбиты, но этого ни-

когда не наблюдается. Вещество, составляющее косу кометы, не представляетъ одного цѣлаго съ головою и ядромъ кометы, а выбрасывается изъ ядра и затѣмъ летитъ въ небесномъ пространствѣ. Подобное явленіе имѣемъ на землѣ: дымъ паровоза не составляетъ нѣчто не раздѣльное съ машиной, а по выходѣ изъ трубы движется независимо отъ нея.

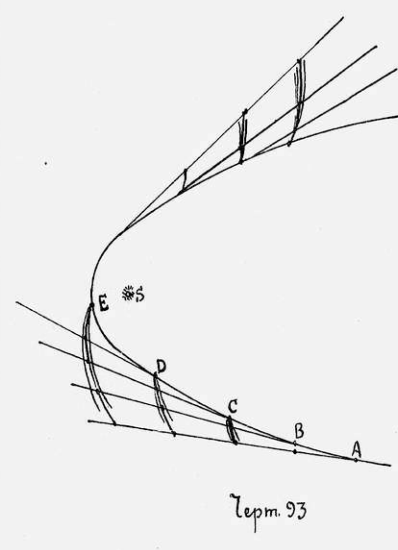
Если примемъ ньютоніанскую силу притяженія, дѣйствующую на единицѣ разстоянія, за единицу, то вообще для всякаго разстоянія эта сила выразится черезъ $\frac{1}{r^2}$ гдѣ r есть разстояніе между разсматриваемыми частицами. Если же на частицу дѣйствуетъ кромѣ ньютоніанской силы притяженія еще какая-нибудь отталкивательная сила μ, подчинающаяся также закону квадрата разстояній, то частица будетъ находиться подъ вліяніемъ силы, равной разности первыхъ двухъ, то есть подъ вліяніемъ силы

$$\frac{1-\mu}{r^2}$$

Если $\mu < 1$, то $1-\mu > 0$ и общій результатъ будетъ притягательный, частицы будутъ притягиваться. Если $\mu = 1$, то $1-\mu = 0$ и частицы будутъ двигаться подъ дѣйствіемъ только инерціи - прямолинейно и равномѣрно. Если $\mu > 1$, то $1-\mu < 0$ и частицы будутъ двигаться подъ дѣйствіемъ отталкивательной силы.

Разсмотримъ механическую причину образованія кометныхъ косъ.

Пусть кометная орбита представляется параболой, по которой движется комета въ направленіи ABC (черт. 93).



Черт. 93

Скорость движенія будетъ увеличиваться съ приближеніемъ къ перигелію и достигаетъ maximum'a въ перигеліи. Пусть $\mu = 1$; тогда въ точкахъ A, B, C, D... отдѣлятся частицы, которыя по закону инерціи будутъ двигаться по касательной прямолинейно и равномѣрно, при чемъ частицы, отдѣлившіяся въ B будутъ двигаться скорѣе, чѣмъ отдѣлившіяся въ A, отдѣлившіяся въ C скорѣе, чѣмъ въ B и т.д., такъ какъ скорость движенія частицъ возрастаетъ съ приближеніемъ къ перигелію.

Если соединимъ синхроническія частицы, то и получимъ косы, которыя будутъ выпуклы и будутъ лежать внѣ орбиты. При дальнѣйшемъ движеніи не получится симметріи, и коса будетъ имѣть видъ, показанный на чертежѣ.

Если предположить, что $\mu > 1$, то и тогда можно объяснить происхожденіе косы, только послѣдняя будетъ болѣе выпуклой.

Сопоставивъ наблюденія надъ несколькими кометами, въ положеніи косъ которыхъ замѣчалась отталкивательная сила солнца, Бредихинъ открылъ три типа кометныхъ косъ.

Къ первому типу принадлежатъ кометы съ прямолинейными косами, направленными почти по радіусу - вектору въ сторону, противоположную солнцу. Второй типъ составляютъ кометы съ длинными, искривленными хвостами, составляющими съ радіусомъ - векторомъ уголъ въ 45°. Наконецъ третій типъ составляютъ кометы съ короткими и болѣе искривленными косами, чѣмъ кометы второго типа.

Такимъ образомъ, если отъ извѣстнаго типа отталкивательной силы зависитъ извѣстная форма косы кометы, то, обратно, по формѣ косы можно судить о величинѣ или типѣ отталкивательной силы, которая въ нѣкоторыхъ единицахъ выражается слѣдующими числами:

I типъ........	12,0
II типъ.......	2,0 1,7 1,0 0,9
III типъ.......	0,5 0,4 0,3 0,29 0,28

Бредихинъ не входитъ въ разсмотрѣніе сущности

этой силы. О природѣ отталкивательной силы Целльнеръ первый высказалъ слѣдующую гипотезу. Онъ говоритъ, что вслѣдствіе особой атмосферы кометъ, возникающей оттого, что кометы переходятъ изъ областей, находящихся въ различныхъ условіяхъ - изъ далекихъ пространствъ въ близкія къ солнцу - (планеты приблизительно въ одинаковыхъ условіяхъ), возникаютъ электрическія силы, при чемъ μ зависитъ отъ массы кометъ: молекулы большаго вѣса будутъ отталкиваться съ меньшей скоростью, а молекулы болѣе ленкія получатъ большую скорость. Если мы сопоставимъ атомные вѣса водорода и углерода съ отталкивательной силой перваго и второго типа, то мы увидимъ, что силы обратнопропорціональны атомнымъ вѣсамъ этихъ элементовъ; атомный вѣсъ желѣза обратно пропорціоналенъ силѣ третьяго типа. Словомъ, произведеніе атомнаго вѣса на величину силы есть величина постоянная (по Целльнеру).

Полагая, что для косъ перваго типа, состоящаго изъ частицъ водорода, сила $\mu = 12$, мы можемъ эту силу вычислить и для другихъ элементовъ по ихъ атомному вѣсу. Слѣдующая таблица содержитъ величины этихъ силъ для нѣкоторыхъ изъ болѣе распространенныхъ элементовъ.

Элементы.	Атомн. вѣс.		Элементы.	Атомн. вѣс.	
H	1	12,0	S	32	0,4
Li	7	1,7	Cl	36	0,3
C	12	1,0	K, Ca	40	0,3
N	14	0,9	Fe, Co, Ni	57	0,2
O	16	0,8	Cu	64	0,2
Na, Mg	24	0,5	(другіе)	100-200	0,1
P	31	0,4			

Что на основаніи этой гипотезы можно предвидѣть?

1) Пусть ядро кометы состоитъ изъ разнороднаго вещества; тогда каждое вещество будетъ образовывать косу по своей кривой; такимъ образомъ, одна комета можетъ имѣть косы различныхъ типовъ. Такимъ примѣромъ является комета Донати (см. выше).

2) Одно вещество, какъ самое легкое, можетъ совсѣмъ выдѣлиться, а изъ болѣе тяжелаго можетъ образоваться хвостъ второго типа, а затѣмъ, по окончательномъ отдѣленіи второго вещества, можетъ получиться и хвостъ третьяго типа.

Такой примѣръ представляетъ комета 1902 г.

3) По формѣ косы данной кометы можно опредѣлить величину отталкивательной силы, а по послѣдней вещество, изъ котораго состоитъ коса.

Изслѣдованія спектроскопомъ показали, что въ дѣйствительности кометы перваго типа состоятъ изъ водорода и гелія, а второго типа изъ углеводородовъ.

Астрономы говорятъ, что изученіе кометныхъ

хвостовъ можетъ открыть такія тайны неба, о которыхъ раньше и не подозрѣвали.

В). Падающія звѣзды.

Если въ ясную, безлунную ночь всматриваться въ звѣздное небо, то довольно часто можно видѣть, какъ на небѣ вдругъ появляется небольшая звѣздочка, промелькнетъ и исчезнетъ безслѣдно. Такія звѣзды называются падающими звѣздами; онѣ по большей части очень слабы, видны только въ теченіе одной или двухъ секундъ и обыкновенно описываютъ на небѣ лишь небольшую дугу, но иногда между ними встрѣчаются и болѣе свѣтлыя, не уступающія по яркости Юпитеру или Венерѣ; иногда онѣ оставляютъ на небѣ за собою огненный слѣдъ или разрываются на части.

Изучить явленіе падающихъ звѣздъ удалось только въ послѣднее время; еще въ XVIII столѣтіи не имѣли никакого понятія о падающихъ звѣздахъ и причисляли ихъ къ явленіямъ метеорологическимъ. Даже въ серединѣ XIX ст. явленіе не было хорошо изучено, и только съ семидесятыхъ годовъ прошлаго столѣтія природа падающихъ звѣзда получаетъ научное освѣщеніе.

Приступая къ изученію падающихъ звѣздъ, прежде всего нужно рѣшить вопросъ, на какой высотѣ надъ поверхностью земли происходитъ ихъ полетъ.

Первая попытка опредѣлить эту высоту была сдѣлана въ 1801 г. двумя студентами геттингенскаго университета, учениками знаменитаго Гаусса, Бран-

десомъ и Бенценбергомъ; съ хорошо свѣренными часами они для наблюденія выбрали два мѣста, положеніе которыхъ было хорошо извѣстно, а также извѣстно было и разстояніе между ними. Каждый наблюдалъ видимый путь падающей звѣзды и записывалъ время наблюденія, такъ что можно было судить, наблюдалась ли одна и та же звѣзда или нѣтъ. По даннымъ о времени наблюденія и по координатамъ, напримѣръ, начала пути падающей звѣзды можно вычислить ея азимуты въ обоихъ мѣстахъ и видимыя высоты, а по этимъ даннымъ легко опредѣлить и высоту отъ земной поверхности. Такого рода наблюденія показали, что блестящія падающія звѣзды появляются на высотѣ отъ 50 до 200 километровъ надъ поверхностью земли, то-есть въ самыхъ верхнихъ слояхъ атмосферы, гдѣ воздухъ долженъ быть въ состояніи крайняго разрѣженія.

Это были первыя наблюденія до 1833 г., когда проф. Ольмстедъ въ первый разъ нарисовалъ на звѣздной картѣ пути падающихъ звѣздъ, наблюденныхъ имъ 12-го ноября новаго стилѣ. Получился весьма любопытный результатъ: всѣ пути падающихъ звѣздъ казались выходящими изъ одной и той же точки, или, вѣрнѣе, изъ одной и той же площадки.

Точка или мѣсто , изъ которыхъ кажутся выходящими пути падающихъ звѣздъ, называется точкою радіаціи или радіантомъ; радіантъ остается неподвижнымъ среди звѣздъ и вмѣстѣ съ ними участвуетъ въ видимомъ суточномъ вращеніи неба; это явленіе служитъ весьма убѣдительнымъ доказательствомъ небеснаго происхожденія падающихъ звѣздъ.

На это же указываетъ и слѣдующее обстоятельство. Съ различныхъ мѣстъ земной поверхности, какъ бы далеко они не лежали одно отъ другого, радіантъ всегда усматривается въ одной и той же точкѣ на небесномъ сводѣ. Если бы падающія звѣзды были земного происхожденія, то ихъ радіантъ усматривался бы съ разныхъ точекъ земли въ различныхъ мѣстахъ небесной сферы.

Расхожденіе всѣхъ видимыхъ путей падающихъ звѣздъ отъ одной и той же точки является слѣдствіемъ перспективнаго вліянія. Если разсматривать рядъ параллельныхъ линій, то будетъ казаться, что всѣ онѣ сходятся гдѣ-то вдали, въ одной и той же исчезающей точкѣ, которая и есть ничто иное, какъ радіантъ. Напримѣръ, рельсы желѣзной дороги, линіи галлереи и т.п. кажутся намъ какъ бы сходящимися въ одной точкѣ. Этой точкѣ художники даютъ названіе центра перспективы. Точно то же самое имѣетъ и при наблюденіи полета падающихъ звѣздъ.

Существованіе радіанта даетъ намъ, слѣдовательно, право сдѣлать заключеніе, что падающія звѣзды одного и того же радіанта движутся въ пространствѣ по линіямъ, параллельнымъ между собою; онѣ, слѣдовательно, движутся группами, несутся въ пространствѣ кучею, роемъ, какъ пчелы. Совокупность падающихъ звѣздъ, имѣющихъ общій радіантъ, принято называть роемъ или потокомъ.

Одинъ потокъ отличается отъ друго, во-первыхъ, положенiемъ своего радiанта на небесной сферѣ, а во-вторыхъ, временемъ появленiя, и, въ-третьихъ, количествомъ падающихъ звѣздъ или напряженiемъ.

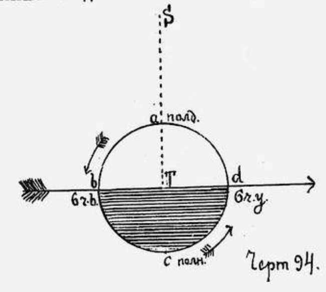
Въ зависимости отъ положенiя радiанта на небесной сферѣ принято называть падающiя звѣзды производнымъ именемъ отъ того созвѣздiя, среди котораго лежитъ радiантъ. Напримѣръ, радiантъ знаменитаго августовскаго потока лежитъ въ созвѣздiи Персея (около μ Persei); падающiя звѣзды называются персидами. Падающiя звѣзды перваго ноябрьскаго потока (13-14 ноября новаго стиля) имѣютъ радiантъ въ созвѣздiи Льва (Leo) и называются леонидами, а втораго (27 ноября новаго стиля) - въ созвѣздiи Андромеды и называются андромедидами и т.д.

Скорость падающихъ звѣздъ. Наблюдая величину дуги, описываемой падающей звѣздой и продолжительность ея полета и вычисляя разстоянiе звѣзды до наблюдателя, можно было бы опредѣлить скорость полета падающихъ звѣздъ, но дѣло въ томъ, что полетъ падающихъ звѣздъ совершается съ такой большой быстротой, что опредѣлить сколько-нибудь точно продолжительность полета такимъ способомъ является невозможнымъ; поэтому надо изыскать другой способъ для опредѣленiя скорости падающихъ звѣздъ.

Однако, на основанiи упомянутаго способа можно произвести приблизительную оцѣнку скорости; приблизительная оцѣнка показываетъ, что скорость эта

космическая.

Для опредѣленiя истинной величины скорости падающихъ звѣздъ Скiапарелли избралъ очень остроумный способъ, который основанъ на счетѣ числа встрѣчныхъ и догоняющихъ падающихъ звѣздъ.



Черт 94.

Пусть плоскость эклиптики находится въ плоскости черт. 94 T - центръ земли, S - солнце; пусть сѣверный полюсъ земли обращенъ въ сторону читателя; стрѣлками изображены вращательное и поступательное движенiе земли. Въ точкѣ a будетъ полдень, въ точкѣ b 6 час. вечера, c - полночь, а d - 6 ч. утра; ясно, что та точка, въ которой считается 6 часовъ утра, идетъ впереди, а точка, въ которой 6 час. вечера, идетъ позади, промежуточныя точки занимаютъ промежутоныя положенiя.

Допустимъ, что падающiя звѣзды неподвижны и земля движется въ пространствѣ, наполненномъ падающими звѣздами; тогда въ точкѣ a будетъ наблюдаться много падающихъ звѣздъ, а въ точкѣ d совсѣмъ ихъ не будетъ, такъ какъ наблюдатель будетъ защищенъ отъ потока звѣздъ тѣломъ земли.

Если же падающiя звѣзды движутся по всѣмъ на-

правленіямъ, то въ томъ случаѣ, когда скорость падающихъ звѣздъ будетъ меньше скорости земли, то на впереди идущей части земли будетъ много падающихъ звѣздъ, а на позади идущей не будетъ ихъ, такъ какъ падающія звѣзды не догонятъ земли. Когда же скорость падающихъ звѣздъ будетъ больше скорости земли, тогда падающія звѣзды будутъ наблюдаться всюду, но только наибольшее число ихъ должно быть на впереди идущей части, что на самомъ дѣлѣ и наблюдается.

Скіапарелли воспользовался наблюденіями французскаго часовыхъ дѣлъ мастера Кувье-Гравье. Послѣдній жилъ въ окрестностяхъ Парижа и по вечерамъ и ночамъ считалъ число пролетавшихъ падающихъ звѣздъ, за что часто подвергался даже насмѣшкамъ. Его наблюденія, а также наблюденія Ю.Шмидта въ Аѳинахъ показали, что число падающихъ звѣздъ правильно возрастаетъ до 5 часовъ утра, а отъ 5 до 6 оно какъ будто уменьшается, что объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что утренняя заря мѣшаетъ наблюденіямъ, вслѣдствіе чего подъ утро видны только самыя яркія звѣзды, слабыя же ускользаютъ отъ наблюдателя.

Ниже мы приводимъ таблицу числа падающихъ звѣздъ въ разные часы.

Часы.	Число пад. звѣздъ въ I ч.	Часы.	Число пад. звѣздъ въ I ч.
5-6 в.	4,2	I2-I ч.у.	I4,I
6-7 "	5,3	I-2 "	I6,3
7-8 "	5,7	2-3 "	I7,9
8-9 "	6-7	3-4 "	I8,2

9-I0 "	7,9	4-5	I8,8
I0-II "	9,5	5-6	I4,9
II-I2 "	II,6	Утренняя заря.	

Основываясь на этихъ числахъ, Скіапарелли пришелъ къ заключенію, что скорость падающихъ звѣздъ въ I,4 раза больше скорости земли, а т.к. скорость движенія земли равна 29 килом. въ секунду, то скорость падающихъ звѣздъ достигаетъ значенія 29.I,4 = 40,6 килом. или, въ круглыхъ числахъ 4I километра въ секунду.

Какія отсюда слѣдствія?

При встрѣчѣ падающихъ звѣздъ съ землею ихъ относительная скорость равна 29 + 4I = 70 кил.; каковая скорость въ I00 разъ больше скорости артиллерійскаго снаряда.

Такъ какъ при не очень значительныхъ скоростяхъ сопротивленіе воздуха пропорціонально квадрату скорости движущагося тѣла, то относя ту же величину сопротивленія и къ падающимъ звѣздамъ, найдемъ, что сопротивленіе, испытываемое ими, въ I0000 разъ больше того, какое приходится испытывать артиллерійскому снаряду. Если послѣдній нагрѣвается, положимъ, на I0° - беремъ скромную цифру - то падающая звѣзда не только нагрѣется, но накалится и при томъ въ малую долю секунды. Накаливаніе происходитъ въ верхнихъ слояхъ атмосферы, при самомъ вступленіи въ нее падающей звѣзды, при чемъ вмѣстѣ съ накаливаніемъ прекращается движеніе падающей звѣзды: она какъ бы

ударяется о воздухъ и при ударѣ накаливается. Такъ какъ сначала накаливается ея наружная оболочка и при томъ очень быстро и вслѣдствіе малой теплопроводности твердыхъ тѣлъ теплота, пріобрѣтенная наружной поверхностью, не можетъ быть немедленно же передана внутреннимъ частямъ падающей звѣзды, то расширившаяся отъ накаливанія наружная оболочка вызываетъ во всемъ тѣлѣ значительныя натяженія, вслѣдствіе которыхъ оно разрывается на мельчайшія части. Если падающая звѣда небольшая, то она можетъ превратиться въ паръ, такъ сказать, сгорѣть и въ видѣ пыли достичь земли. Можно утвердать, что подъ утро ни одна звѣзда въ твердомъ состояніи не достигаетъ земли.

Иначе произойдетъ явленіе, если падающая звѣзда влетитъ въ атмосферу земли, догоняя послѣднюю, то есть въ вечерніе часы. Тогда относительная скорость падающей звѣзды будетъ всего около 41-29 = 12 кил. Ясно, что сопротивленіе встрѣчаемое въ воздухѣ вечернею падающею звѣздою, догоняющей землю, будетъ во столько разъ меньше сопротивленія, встрѣчаемаго утренней звѣздой, во сколько 12^2 меньше 70^2, то-есть въ 34 раза.

Поэтому, если утреннія падающія звѣзды встрѣчаютъ столь значительное сопротивленіе, что разлетаются въ прахъ или превращаются въ газообразное состояніе, то вечернія падающія звѣзды, встрѣчая сопротивленіе въ 34 раза меньшее, могутъ глубже

проникнуть въ воздушный океанъ и даже упасть на землю въ цѣлости или въ кускахъ, на которые разлетаются первоначально падающія звѣзды.

Встрѣчая меньшее сопротивленіе, вечернія падающія звѣзды меньше накаливаются; вслѣдствіе этого выдѣленіе изъ нихъ газообразныхъ веществъ происходитъ медленнѣе, и если падающая звѣзда имѣетъ большіе размѣры, то она окружается сіяющей атмосферою. Такія падающія звѣзды, окруженныя ореоломъ и сопровождающіяся иногда шумомъ, называются б о л и д а м и. Упавшія на землю камни называются различнымъ образомъ: чаще всего метеоритами, затѣмъ аэролитами, сидеритами или уранолитами. Они бываютъ весьма различныхъ размѣровъ: отъ камней вѣсомъ въ нѣсколько граммовъ до глыбъ въ нѣсколько десятковъ килограммовъ. По своему составу и строенію они также представляютъ большое разнообразіе.

Вспомнимъ, что падающія звѣзды видны только тогда, когда онѣ влетаютъ въ нашу атмосферу, такъ какъ въ это время онѣ вспыхиваютъ, блестятъ и разлетаются въ прахъ; до вспышки же онѣ не видны.

Естественно возникаетъ вопросъ: какъ и гдѣ онѣ движутся до встрѣчи съ землею?

Несомнѣнно, что онѣ должны подчиняться закону всемірнаго тяготѣнія и двигаться вокругъ солнца по законамъ Кеплера, т. е. описывать эллипсъ, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце. Эллиптиче-

скіе пути падающей звѣзды и земли очевидно должны пересѣкаться, иначе падающая звѣзда не могла бы влетѣть въ земную атмосферу и мы ея не увидѣли бы. То, что относится до одной падающей звѣзды, отнесится до всѣхъ составляющихъ одинъ и тотъ же потокъ. Двигаясь такимъ образомъ, рой встрѣчается съ землею; тогда земля погружается въ него, и въ земную атмосферу влетаетъ часть составляющихъ его падающихъ звѣздъ; онѣ движутся по параллельнымъ линіямъ, и вслѣдствіе этого намъ кажется, какъ будто всѣ пути ихъ исходятъ изъ одной и той же точки.

Опредѣлить размѣры эллипса, описываемаго тѣмъ или другимъ роемъ падающихъ звѣздъ, нельзя непосредственно изъ наблюденій, такъ какъ для этого нужно знать весьма точно величину скорости движенія падающихъ звѣздъ, но можно воспользоваться третьимъ закономъ Кеплера, по которому кубы среднихъ разстояній свѣтилъ отъ солнца пропорціональны квадратамъ временъ ихъ полныхъ обращеній вокругъ солнца.

Наблюденія, произведенныя изъ года въ годъ надъ числомъ падающихъ звѣздъ, относящихся къ одному и тому же потоку, обнаруживаютъ рѣзко бросающуюся въ глаза періодичность. Напримѣръ, число леонидъ было необычайно велико въ слѣдующіе года: 1799, 1833 и 1866, а по свидѣтельству индѣйцевъ, сообщившихъ о своихъ воспоминаніяхъ Гумбольдту, и раньше, именно въ 1766 г.; такимъ образомъ, въ 100 лѣтъ три звѣздныхъ дождя; очевидно, періодъ ихъ появленія равенъ 33,3 г.

Періодичность появленія леонидъ указываетъ, что онѣ не распредѣлены равномѣрно вдоль орбиты, а движутся роемъ, съ которымъ земля встрѣтилась въ перечисленные годы. Рой леонидъ, двигаясь вокругъ солнца, совершаетъ полное обращеніе въ 33,3 г.

Зная періодъ обращенія $\mathcal{U}$, мы на основаніи III зак. Кеплера, можемъ написать:

$$\frac{\mathcal{U}^2}{T^2} = \frac{A^3}{a^3}$$

гдѣ A - среднее разстояніе роя падающихъ отъ солнца (большая полуось эллипса), T - время обращенія земли вокругъ солнца = 1 г., a - среднее разстояніе земли до солнца, которое примемъ за единицу, тогда

$$A = \sqrt[3]{\mathcal{U}^2}$$

Для леонидъ $\mathcal{U}$ = 33,3 г., и $A = \sqrt[3]{(33,3)^2}$ = 10,35, т. е. большая полуось равна 10,35 радіусамъ земной орбиты.

Въ главѣ о кометахъ мы познакомились съ явленіемъ дробленія кометъ на части и узнали, что каждая комета, въ концѣ концовъ должна разложиться въ потокъ падающихъ звѣздъ.

Если бы мы нашли среди кометъ такую, которая имѣла бы точно такіе же элементы, какъ и у метеорнаго потока, то мы вывели бы заключеніе, что комета эта имѣетъ физическую связь по своему происхожденію съ этимъ потокомъ, или наоборотъ. Если комета пересѣкаетъ земную орбиту въ той же точкѣ, что и метеорный

потокъ, другими словами, если у кометы и у метеорнаго потока одни и тѣ же элементы, то мы заключаемъ, что комета и потокъ обращаются вокругъ солнца по одной и той же орбитѣ и неразрывно связаны между собою.

Подобную комету открылъ Темпель въ 1866 году; сходство элементовъ ея орбиты съ элементами орбиты леонидъ съ несомнѣнностью указываетъ, что рой леонидъ движется по орбитѣ кометы 1866 года, открытой Темпелемъ.

Нѣсколько менѣе совершенное сходство замѣчено между роемъ персеидъ и кометою 1862 года открытою Свифтомъ и Тетлемъ въ Соединенныхъ Штатахъ.

Персеиды представляютъ потокъ, напряженность котораго изъ года въ годъ остается почти одинаковою, и только весьма тщательныя наблюденія въ смыслѣ опредѣленія числа падающихъ звѣздъ могутъ со временемъ дать матеріалъ для точнаго опредѣленія періода обращенія роя персеидъ вокругъ Солнца.

Третій поразительный примѣръ движенія кометы вдоль орбиты роя падающихъ звѣздъ представляетъ комета Біела, разсмотрѣнная нами въ главѣ о кометахъ.

Упомянемъ еще объ изслѣдованіяхъ Ѳ. А. Бредихина о "неподвижныхъ" или сложныхъ радіантахъ. Неподвижные радіанты до Ѳ. А. Бредихина составляли загадку; Ѳ. А. Бредихинъ доказалъ, что неподвижные радіанты составляются изъ нѣсколькихъ или многихъ отдѣльныхъ потоковъ падающихъ звѣздъ; ихъ орбиты такъ

расположены, что большія оси почти совпадаютъ съ плоскостью эклиптики. Неподвижные радіанты лежатъ или около полюса эклиптики, или около полюса міра.

Постоянное паденіе на землю падающихъ звѣздъ, небесныхъ камней большаго или меньшаго размѣра, наконецъ, космической пыли, - все это увеличиваетъ объемъ и массу земли: она непрерывно растетъ. Правда, для періода времени, охватывающаго жизнь одного человѣка этотъ ростъ незамѣтенъ и не можетъ быть измѣренъ, но для періодовъ, охватывающихъ вѣка и тысячелѣтія, онъ долженъ быть замѣтенъ.

II. Зодіакальный свѣтъ.

Вскорѣ послѣ заката солнца каждый ясный вечеръ весною и осенью передъ солнечнымъ восходомъ можно видѣть конусъ свѣта, который тянется по небу, придерживаясь направленія эклиптики. Этотъ свѣтъ, не рѣзко ограниченный и блѣдный, особенно въ нашихъ широтахъ, но видимый явственно въ южныхъ странахъ, называется з о д і а к а л ь н ы м ъ   с в ѣ т о м ъ. Видимое угловое разстояніе его вершины отъ солнца измѣняется отъ 40^o до 90^o, а ширина основанія отъ 8^o до 30^o. Открытіе его приписываютъ Чайльдрею въ 1569 году, хотя есть основаніе думать, что это явленіе было извѣстно еще древнимъ.

Наиболѣе вѣроятная причина этого явленія заключается въ томъ, что землю окружаетъ кольцо, подобное

кольцу Сатурна и состоящее изъ мелкихъ космическихъ частицъ, которыя двигаются около земли по закону тяготѣнія.

Частицы эти настолько мелки, что мы ихъ не видимъ, а видимъ только свѣтъ солнца, отраженный ими. Наблюденія показали, что спектръ зодіакальнаго свѣта постояненъ и тождественъ со спектромъ ослабленнаго солнечнаго свѣта, и въ немъ не замѣчается никакихъ характерныхъ линій.

Эти данныя говорятъ въ пользу вышеприведеннаго предположенія.

Съ другой стороны, однако, отблескъ, наблюдаемый всегда въ той части неба, которая лежитъ противъ солнца, не можетъ быть объясненъ этой гипотезой.

12. Гипотезы міозданія.

Гипотезъ о твореніи міровъ или такъ называемыхъ космогоническихъ гипотезъ довольно много, такъ какъ построить гипотезу сравнительно легко, но трудно отнестись къ ней критически.

Наибольшимъ успѣхомъ въ XIX столѣтіи пользовалась такъ называемая небулярныя гипотезы Канта и Лапласа, хотя въ сущности гипотеза Канта отличается отъ гипотезы Лапласа. Кантъ высказалъ свою гипотезу раньше Лапласа, а именно въ 1755 году (анонимно) и въ 1796 году Лапласъ независимо отъ Канта высказалъ свою гипотезу.

Кантъ и Лапласъ обратили свое вниманіе, во-первыхъ, на то, что всѣ планеты вращаются въ плоскостяхъ почти совпадающихъ, и, во-вторыхъ, что всѣ планеты и всѣ ихъ спутники, въ то время извѣстные, движутся отъ запада къ востоку (прямымъ движеніемъ) и вращаются около оси въ томъ же направленіи.

Отсюда они вывели заключеніе, что подобное совпаденіе не можетъ быть разсматриваемо, какъ дѣло простой случайности. Тутъ и кончаются общія черты гипотезы Канта и гипотезы Лапласа.

Кантъ предполагаетъ, что первоначально вещество было въ газообразномъ состояніи и распредѣлялось въ плоскости эклиптики; вся эта масса вещества имѣла прямое движеніе около геометрическаго центра. Вслѣдствіе охлажденія вещество начало сгущаться кольцеобразно, а затѣмъ вещество каждаго кольца образовало планету.

Лапласъ говоритъ, что все вещество, бывшее сначала въ газообразномъ состояніи, соединилось вслѣдствіе охлажденія въ одно свѣтило - солнце; скорость вращательнаго движенія была такъ велика, что отдѣлилось жидкое кольцо, которое затѣмъ образовало планету. При дальнѣйшемъ охлажденіи опять должно было отдѣлиться отъ солнца кольцо, образовавшее планету и т. д. Въ свою очередь и планета могла отдѣлить кольцо, примѣромъ чего служитъ Сатурнъ.

Лапласъ пытался математически опредѣлить вѣроятность своей гипотезы; въ то время было извѣстно 7 планетъ, солнце и 7 спутниковъ, т. е. 15 свѣтилъ сол-

нечной системы. Лапласъ говорилъ, что можно спорить миллiонъ противъ одного, что именно такъ шло образованiе мiровъ, и его гипотеза дѣйствительно не противорѣчила тогдашнимъ знанiямъ о членахъ солнечной системы.

Но съ дальнѣйшими открытiями начали встрѣчаться противорѣчiя; оказалось, что не всѣ планеты вращаются почти въ одной плоскости; нѣкоторыя изъ малыхъ планетъ имѣютъ наклонъ до 43° къ плоскости эклиптики.

Если представить, что планета отдѣляется отъ солнца, то по третьему закону Кеплера солнце должно вращаться скорѣе около своей оси, чѣмъ планета вокругъ солнца; это подтверждается на Меркурiи, Венерѣ, Землѣ, Лунѣ, Марсѣ и др. планетахъ. Но мы видѣли, что спутникъ Марса Фобосъ обращается вокругъ Марса въ 7 ч. 41 м., а Марсъ вокругъ своей оси въ 24 ч. 37 м.; это противорѣчитъ гипотезѣ Лапласа.

Спутники Урана и Нептуна находятся не въ плоскости эклиптики, а орбиты ихъ наклонены къ плоскости эклиптики подъ углами, превышающими 90°, такъ что, если смотрѣть съ полюса эклиптики, то ихъ движенiе будетъ слѣва на право, т.-е. обратное.

Наконецъ, кольцо Сатурна оказалось ни жидкимъ, ни твердымъ и ни газообразнымъ, а состоящимъ изъ твердыхъ частицъ; это тоже служитъ не доказательствомъ, а противорѣчiемъ гипотезѣ Лапласа.

Обратное движенiе противорѣчитъ также и гипотезѣ Канта.

Наконецъ, на основанiи накопившихся фактовъ высказалъ Ф а й (Faye) свою гипотезу.

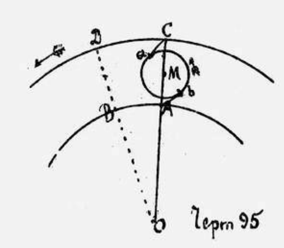
По предположенiю Фая, все вещество находилось первоначально въ газообразномъ состоянiи, одушевленномъ движенiемъ; всякая частица имѣла одну и ту же угловую скорость, какъ будто бы было твердое тѣло.

Тяготѣнiе въ подобномъ случаѣ пропорцiонально радiусу /въ центрѣ тяготѣнiе равно нулю/. Итакъ, сила тяготѣнiя выражается формулой:

$$Ar$$

Линейная скорость вращательнаго движенiя тоже пропорцiональна силѣ и радiусу.

Выдѣлимъ мысленно кольцо матерiи, изъ котораго постепенно образовались планеты (реально это кольцо не существуетъ). Если возьмемъ двѣ точки A и C (чертежъ 95), находящiяся по обѣ стороны планеты (такiя точки всегда можно представить) и допустимъ, что онѣ соединяются въ планету, то, такъ какъ C имѣетъ большую линейную скорость, чѣмъ A, C опередитъ планету и ударится въ точкѣ a, а A отстанетъ и ударится въ точкѣ b; такимъ образомъ получится пара силъ, которая будетъ вращать


Черт 95

планету прямымъ движенiемъ; тоже произойдетъ съ каждой парой частицъ, и такимъ образомъ планета получитъ прямое движенiе.

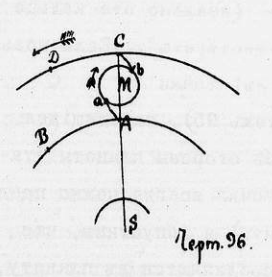
Отсюда выводъ, что планеты съ прямымъ движенiемъ образовались до образованiя солнца, т.-е. въ то время, когда былъ только геометрическiй центръ.

Переходимъ теперь къ гипотезѣ съ реальными кольцами и существующимъ солнцемъ.

Тогда уже каждая частица будетъ подчиняться силѣ тяготѣнiя, выражающейся формулой

$$\frac{B}{r^2}$$

и слѣдовать третьему закону Кеплера, т.-е. съ удаленiемъ частицы отъ центра линейная скорость будетъ уменьшаться.



Черт. 96.

Беремъ въ разсмотрѣнiе опять двѣ частицы A и C, соединяющiяся въ планету; такъ какъ линейная скорость A будетъ больше, чѣмъ линейная скорость C, то теперь уже A опередитъ планету M и ударится въ a, а C ударится въ b. Тоже произойдетъ съ каждой парой частицъ; результатомъ будетъ обратное движенiе планеты.

Все сказанное относится и къ спутникамъ.

Фай говоритъ, что всѣ планеты до Сатурна включительно образовались до образованiя солнца; Уранъ

и его спутники образовались въ промежуточномъ состоянiи, когда дѣйствовала сила

$$Ar + \frac{B}{r^2}$$

Спутники Нептуна образовались тогда, когда уже сформировалось солнце.

Наблюденiя движенiй планетъ и ихъ спутниковъ не противорѣчитъ этому.

К О Н Е Ц Ъ.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ВАЖНѢЙШІЯ ИЗЪ ЗАМѢЧЕННЫХЪ ОПЕЧАТОКЪ.

Стр.	Строка	Напечатано:	Должно быть:
61	6 сверху	$64\frac{1}{4}$	$60\frac{1}{4}$
172	13 -"-	Лаворье	Леверье.
211	2 снизу	$\delta=\left(\frac{19692}{77794}\right)$	$\delta=\left(\frac{19692}{77794}\right)^{\frac{2}{3}}$
228	14 " " "	$b - a - 5$	$b - a = 5$
289	На черт. 92 у сфероида К пропущены буквы:		наверху b, внизу a
296	1 сверху	сѣвренными	свѣренными
300	1 -"-	друго	другого.

""""""""""""""""""